

Neue Medien im experimentellen Physikunterricht der Sekundarstufe I

**Eine empirisch-explorative Studie zur Untersuchung der
Auswirkungen von virtuell durchgeführten physikalischen
Experimenten auf die Motivation der Lernenden im
Sekundarstufenbereich I**

Von der Pädagogischen Hochschule Heidelberg
zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Philosophie (Dr. phil.)
genehmigte Dissertation von

Dipl.-Päd. Markus Berger, BEd MSc
aus
Herzogenburg, Österreich

2018

Erstgutachterin: Prof. apl. Dr. Nicole Marmé

Zweitgutachter: Prof. Dr. Markus Rehm

Fach: Physik

Tag der mündlichen Prüfung: 16. Juli 2018

Danksagungen

Bei meiner Dissertationsmutter Frau Prof. apl. Dr. Nicole Marmé möchte ich mich besonders für die professionelle und herzliche Unterstützung bedanken. Durch ihre Expertise ergaben sich bei diesem außerordentlich interessanten Themenbereich viele neue forschungsrelevante Betrachtungsmöglichkeiten, die in diese Studie eingeflossen sind. Danke, dass ich sogar an Wochenenden oder in studienfreien Zeiten stets um Rat fragen durfte.

Danke an Herrn Prof. Dr. Jens-Peter Knemeyer für die unermüdliche Unterstützung. Seine wissenschaftliche Erfahrung und sein profundes Wissen halfen mir immer wieder weiter.

Ebenso möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Markus Rehm für die Übernahme des Koreferats bedanken.

Besten Dank an Erika Frühwald und Karl-Heinz Holzmüller des „Niederösterreichischen Netzwerks der Naturwissenschaften“! Durch ihre Mithilfe konnte die Studie professioneller und an mehr Schulen durchgeführt werden.

Danke an alle Kolleginnen und Kollegen, die die Durchführung der Untersuchung und der Befragung durch ihr Engagement ermöglicht haben. Mir ist es ein persönliches Bedürfnis sie hier namentlich zu nennen: Christian Graf, Roswitha Grießler, Herbert Herndler, Gabriele Stöger, Gabriele Teufner, Thomas Wagner und Irene Weiss.

Mein besonderer Dank gilt meiner Familie, allen voran meiner Frau Monika und meinen Kindern Katharina und Johanna, die während meiner Forschungsarbeit viele Einbußen (vor allem zeitmäßig) hinnehmen mussten und mich trotzdem nach all ihren Kräften unterstützt haben. Speziell meine Frau hat mir zu jenem Freiraum verholfen, den ich brauchte, um diese Arbeit erstellen zu können.

Danke an meine Eltern und meinen Bruder, durch deren positiven Zuspruch ich immer wieder neue Kraft bekam, meine Arbeit voranzutreiben.

Danke an alle, die ich an dieser Stelle nicht erwähnt habe, die mich aber immer wieder unterstützt haben.

Zusammenfassung

Während der Sekundarstufe I ist ein stetiger Rückgang der Motivation im Physikunterricht zu beobachten. Dies stellt die Lehrerinnen und Lehrer vor eine enorme Herausforderung. Die empirische Forschung zeigt, dass Motivation ein wesentlicher Faktor für die Qualität des Lernens und bedeutsamer Prädiktor für lebenslanges Lernen ist. Große Auswirkung hat neben der fachlichen Wissensvermittlung die didaktische Aufbereitung der physikalischen Inhalte mit besonderem Augenmerk auf die Förderung von Interesse und Motivation der Lernenden.

Der Physikunterricht unterscheidet sich zwar von anderen Unterrichtsfächern, indem die Lernenden durch praktische Übungen sprich Experimente auf vielfache Weise zu wissenschaftlichen Erkenntnissen gelangen können - derartige Erfahrungen wirken an sich motivierend. Die derzeit weit verbreitete Methodik sowie übliche Rahmenbedingungen geben dieser Motivation jedoch oft keinen Raum.

Durch die Verwendung elektronisch unterstützter Medien (Smartphones, Tablets oder Personal Computer) und des Internets kann die Methodenvielfalt besser ausgeschöpft werden. Auch viele Barrieren, wie zum Beispiel örtliche Gebundenheit, zeit- oder kostenintensive Versuchsanordnungen, Verletzungsgefahr und das Fehlen von Versuchsmaterialien für den Einzelnen, lassen sich leichter überwinden. Da nahezu alle Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I¹ Zugang zu Neuen Medien haben und sich intensiv mit ihnen beschäftigen, sollten Konzepte entwickelt werden, um diese in den Unterricht zu integrieren und zwar nicht nur als Instrumente zur Informationsbeschaffung, sondern gezielt als didaktische Hilfsmittel im Unterrichtsgeschehen. Virtuelle Experimente basieren auf dem Einsatz dieser modernen Medien und fördern autonomes Handeln sowie das Gefühl von Kompetenz. Die zahlreichen Möglichkeiten kollaborativen Austausches stärken die soziale Eingebundenheit.

Bislang wurde dem Zusammenhang zwischen virtuellem Experimentieren und Motivationssteigerung im Physikunterricht seitens der wissenschaftlichen Forschung

¹ Der Physikunterricht der Sekundarstufe I findet in Österreich von der 6. bis zur 8. Schulstufe statt.

kaum Aufmerksamkeit geschenkt. Daher wurden auch keinerlei pädagogische Konzepte und Unterrichtspraktiken entwickelt, die es den Lehrerinnen und Lehrern erleichtern, moderne Medien für Lehr- und Lernprozesse gewinnbringend einzusetzen.

Die vorliegende explorative Studie nimmt Bezug auf den dramatischen Motivationsrückgang im Physikunterricht in der Sekundarstufe I und untersucht, ob sich dieser durch den gezielten Einsatz virtueller Experimente abschwächen lässt.

Die Forschungsfrage lautet: „Welche Auswirkungen hat der Einsatz von virtuell durchgeführten physikalischen Experimenten im Sekundarstufenbereich I auf die Motivation der Lernenden?“

Insgesamt beteiligten sich fünf Schulen in Österreich und 407 Probandinnen und Probanden an der Studie. Es konnten 1.211 Datensätze mit insgesamt 46.018 Einzeldaten erhoben werden. Durch acht aufgestellte Hypothesen wurde die intrinsische Regulation, das Flow-, das Autonomie- und das Kompetenzerleben sowie die aktuelle Motivation mit ihren Komponenten Herausforderung, Interesse, Erfolgswahrscheinlichkeit und Misserfolgsbefürchtung untersucht.

Die Motivationslage der Schülerinnen und Schüler der sechsten bis achten Schulstufe wurde im Rahmen eines adaptierten Cross Over-Designs mit Hilfe von Online-Fragebögen basierend auf der fünfteiligen Likert-Skala ermittelt.

Die Ergebnisse lassen eindeutige Aussagen zu:

Die aktuelle Motivation mit den Komponenten Herausforderung, Interesse, Erfolgswahrscheinlichkeit zeigt bei den virtuellen Experimenten höchst signifikant bessere Werte als beim entsprechenden Realversuch (Welch-Test $F(2, 768.72) = 20.70$, $p < .001$). Die interne Konsistenz dieser Komponenten wurde über den Cronbachs Alpha berechnet (Reliabilitätsprüfung) und liegt beim Realversuch bei .86 und beim virtuellen Experiment bei .76. Dies entspricht einer guten bzw. hohen Reliabilität.

Ebenso deutlich zeigt sich, dass die Dimensionen intrinsische Regulation, Flow-Erleben, Autonomieerleben und Kompetenzerleben zusammengefasst werden können, denn die Cronbachs Alpha-Werte für den Realversuch von .92 und für das virtuelle Experiment von .89 belegen, dass exzellente interne Konsistenz vorliegt. Auch hier schneidet das virtuelle Experiment höchst signifikant besser ab als der Realversuch (Welch-Test $F(2, 768.72) = 32.29$, $p < .001$).

Entscheidend ist auch die Tatsache, dass Lernende beim virtuellen Experiment höchst signifikant weniger Angst vor Misserfolg haben (Welch-Test $F(2, 741.04) = 66.47$, $p < .001$). Die interne Konsistenz war in akzeptablem Maße gegeben (Realversuch .83, virtuelles Experiment .75).

Die vorliegende Studie zeigt also, dass die Motivation der Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I bei der Durchführung virtueller Experimente stets signifikant höher gelagert ist als bei realen Versuchen.

Die großartige Resonanz auf die Durchführung virtueller Schülerinnen- und Schülerexperimente konnte auch außerhalb der Testsituation festgestellt werden. Den Lernenden stand zu jeder Zeit eine eigens eingerichtete Homepage (<http://www.mr-berger.at>) zur Verfügung, über die sie Zugriff auf virtuelle Experimente hatten. Es zeigte sich, dass die Versuche am Computer ohne Aufforderung auch außerhalb der Schulzeiten regelmäßig von den Lernenden bearbeitet wurden. Die Homepage war auch mit einem Gästebuch versehen, in das sich während der Durchführungsphase 64 Schülerinnen und Schüler mit konstruktiven Kommentaren, die direkten Bezug zu den virtuellen Versuchen der Studie hatten, eintrugen.

Exemplarisch werden hier zwei Rückmeldungen aus dem Gästebuch angeführt:

„Ich finde die Versuche am Computer besser, denn man kann mehr ausprobieren und wenn etwas schiefgeht, macht es nichts.“ (Tobias, am 23. März 2017, 13:02)

„Falls man in der Schule die Versuche nicht ganz versteht oder sich nicht gleich auskennt, finde ich es sehr gut zu Hause am PC die Versuche, Übungen oder Spiele sich nochmals anschauen zu können. Oft ist es durch Spiele auch leichter zu verstehen. Mir hat es sehr viel Spaß gemacht. Sogar meiner Schwester (9) gefiel es und sie probierte es auch gleich aus.“ (Celina, am 04. April 2017, 21:06)

Inhaltsverzeichnis

Danksagungen	iii
Zusammenfassung	v
Inhaltsverzeichnis	viii
Tabellenverzeichnis	xii
Abbildungsverzeichnis	xiii
1 Einleitung	16
2 Stand der Forschung	21
2.1 Blick in die schulische Zukunft	33
3 Theoretische Grundlagen	37
3.1 Physikalisches Experiment	38
3.1.1 Schülerinnen- und Schülerexperiment	48
3.1.2 Experimente im Unterricht aus lernpsychologischer Sicht	53
3.1.3 Begründungen und Ziele des Experimentierens für den Unterricht	57
3.1.4 Selbstständiges Experimentieren	62
3.1.5 Motivation beim naturwissenschaftlichen computerunterstützten Experimentieren	64
3.2 Medien	68
3.2.1 Neue Medien	70
3.2.2 Digitale Unterrichtsmedien	73
3.2.3 Multimedia	77
3.2.4 Didaktischer Einsatz von Medien	81
3.2.5 Internetnutzung im Physikunterricht	87
3.3 Interaktivität	89
3.4 Computereinsatz in der Schule	92
3.5 E-Learning	93

3.6	Online-Labore.....	95
3.7	Simulationsbegriff.....	101
3.7.1	Arten von Simulationen.....	108
3.8	Virtueller Versuch – Computersimulation – Begriffsabklärung.....	113
3.9	Virtuelle Realität	122
3.10	Virtuelle Lernräume und Lernorte.....	127
3.11	Blended Learning	130
3.12	Technologiegestütztes lebenslanges Lernen	135
3.13	Motivation.....	140
3.13.1	Motivationsbegriff.....	145
3.13.2	Lern- und Leistungsmotivation	148
3.13.3	Exkurs: Atkinsons Risikowahlmodell der Leistungsmotivation (Motivational determinants of risk-taking behavior)	160
3.13.4	Motiv	164
3.13.5	Abgrenzung von Motiv und Gefühl.....	167
3.13.6	Implizite und explizite Motive	169
3.13.7	Intrinsische Lernmotivation	171
3.13.8	Extrinsische Lernmotivation	172
3.13.9	Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation nach Deci und Ryan...	173
3.14	Interesse	180
3.14.1	Entwicklung von Interesse	187
3.14.2	Interesse im Zusammenhang mit physikalischen Laboren	190
3.14.3	Interesse im Zusammenhang mit virtuell durchgeführten Versuchen .	192
3.14.4	Verlust von Interesse während der Schullaufbahn.....	194
3.14.5	Bedeutung von Interesse nach PISA und BIFIE	196
3.14.6	Geschlechtsspezifische Unterschiede	198
3.15	Selbstkonzept.....	202

3.16	Flow-Erleben	206
3.17	Motivation im pädagogischen Kontext.....	211
3.18	Lerntheorien	214
3.18.1	Behavioristische Lerntheorie.....	215
3.18.2	Kognitivistische Lerntheorie	219
3.18.3	Konstruktivismus.....	222
4	Empirisch-explorativer Forschungsteil.....	226
4.1	Organisatorische Rahmenbedingungen	226
4.2	Aufbau der Studie.....	229
4.2.1	Das Cross Over-Design	230
4.2.2	Der Fragebogen.....	235
4.2.3	Auswahl der virtuellen Versuche unter besonderer Berücksichtigung der Motivation nach Deci und Ryan.....	238
4.3	Untersuchungsablauf.....	239
4.4	Forschungshypothesen	245
4.4.1	Hypothese 1, intrinsische Regulation.....	246
4.4.2	Hypothese 2, aktuelle Motivation – Komponente Herausforderung	248
4.4.3	Hypothese 3, aktuelle Motivation – Komponente Interesse	249
4.4.4	Hypothese 4, aktuelle Motivation – Komponente Erfolgswahrscheinlichkeit	250
4.4.5	Hypothese 5, aktuelle Motivation – Komponente Misserfolgsbefürchtung	251
4.4.6	Hypothese 6, Flow-Erleben.....	252
4.4.7	Hypothese 7, Autonomieerleben.....	253
4.4.8	Hypothese 8, Kompetenzerleben.....	254
5	Statistische Auswertung	256
5.1	Stichprobe	256
5.1.1	Stichprobengröße	260

5.1.2	Datenqualität.....	263
5.2	Normalverteilung	263
5.3	Likert-Skala und Skalenniveau	265
5.4	Alpha-Faktorenanalyse.....	267
6	Ergebnisse und Diskussion	269
6.1	Hypothese 1, Intrinsische Regulation	273
6.2	Hypothese 2, aktuelle Motivation – Komponente Herausforderung.....	281
6.3	Hypothese 3, aktuelle Motivation – Komponente Interesse.....	287
6.4	Hypothese 4 und 5, aktuelle Motivation – Komponente Misserfolgsbefürchtung (Erfolgswahrscheinlichkeit)	293
6.5	Hypothese 6, Flow-Erleben	299
6.6	Hypothese 7, Autonomieerleben	305
6.7	Hypothese 8, Kompetenzerleben	311
7	Ausblick.....	317
8	Literaturverzeichnis	324
9	Anhang.....	385
9.1	Gästebucheinträge zum virtuellen Versuch	385
9.2	Kopie des Online-Fragebogens:.....	395
9.3	Arithmetische Mittelwerte der einzelnen Items	402
9.3.1	Hypothese 1.....	402
9.3.2	Hypothese 2.....	404
9.3.3	Hypothese 3.....	406
9.3.4	Hypothese 4 und 5.....	408
9.3.5	Hypothese 6.....	410
9.3.6	Hypothese 7	412
9.3.7	Hypothese 8.....	414
	Eidesstattliche Versicherung	416

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Horizon Report 2014.....	35
Tabelle 2: Elemente kreativen Unterrichts.....	36
Tabelle 3: Gegenüberstellung virtuelles Labor Remote Labor	99
Tabelle 4: Fachdidaktisches Triplet	121
Tabelle 5: Merkmale von VR im Vergleich zu konventioneller Computergraphik ...	124
Tabelle 6: Kontextbezug im Physikunterricht.....	200
Tabelle 7: Stichprobengröße Testzeitpunkt 2	260
Tabelle 8: Stichprobengröße Testzeitpunkt 3	260
Tabelle 9: Planung der Stichprobengröße	261
Tabelle 10: Reliabilitätsstatistik.....	268
Tabelle 11: Effektstärke Interpretationsmaß.....	269
Tabelle 12: Zuordnung Likert-Skala.....	272
Tabelle 13: Nichtparametrischer Hypothesentest, Intrinsische Regulation.....	278
Tabelle 14: Deskriptive Statistik zu Hypothese 1	280
Tabelle 15: Nichtparametrischer Hypothesentest, Herausforderung	285
Tabelle 16: Deskriptive Statistiken zu Hypothese 2.....	285
Tabelle 17: Nichtparametrischer Hypothesentest, Interesse	291
Tabelle 18: Deskriptive Statistiken zu Hypothese 3.....	292
Tabelle 19: Nichtparametrischer Hypothesentest, Misserfolgsbefürchtung	297
Tabelle 20: Deskriptive Statistiken zu Hypothese 4 und 5.....	298
Tabelle 21: Nichtparametrischer Hypothesentest, Flow-Erleben	303
Tabelle 22: Deskriptive Statistiken zu Hypothese 6.....	304
Tabelle 23: Nichtparametrischer Hypothesentest, Autonomieerleben	309
Tabelle 24: Deskriptive Statistiken zu Hypothese 7.....	310
Tabelle 25: Nichtparametrischer Hypothesentest, Kompetenzerleben	315
Tabelle 26: Deskriptive Statistiken zu Hypothese 8.....	316

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Innovative pedagogical practices.....	36
Abbildung 2: Ziele des Experimentierens	40
Abbildung 3: Verzahnung von Experiment und Theorie	41
Abbildung 4: Gefäß mit gefrorenem Wasser.....	43
Abbildung 5: Gefäß mit heißem Wasser	43
Abbildung 6: Reiter Zusatzfunktionen.....	43
Abbildung 7: Gefäß mit Wasser und regelbaren Druckverhältnissen	44
Abbildung 8: Gefäß mit Wasser, explosionsartiger Abflug des Deckels	45
Abbildung 9: Forderungen an Experiment	56
Abbildung 10: Virtuelle Versuche und Sport 1	61
Abbildung 11: Virtuelle Versuche und Sport 2	62
Abbildung 12: Lineare Verlinkung.....	76
Abbildung 13: Hierarchische Verlinkung.....	76
Abbildung 14: Netzwerkartige Verlinkung.....	77
Abbildung 15: Simulationspipeline.....	102
Abbildung 16: Simulationspipeline.....	103
Abbildung 17: Prozessablauf	110
Abbildung 18: Deterministische Simulation	110
Abbildung 19: Stochastische Simulation	111
Abbildung 20: Typen von Systemen	113
Abbildung 21: Virtueller Versuch	118
Abbildung 22: Fachdidaktisches Triplett	120
Abbildung 23: 3D Gehirn	126
Abbildung 24: Blended Learning	131
Abbildung 25: Switching replications-Methode	144
Abbildung 26: Emotionsstruktur	168
Abbildung 27: Determinanten motivierten Handelns.....	170
Abbildung 28: Das Kontinuum der Selbstbestimmung.....	177
Abbildung 29: SORCK-Schema behavioristischer Theorien.....	216
Abbildung 30: Stimulus-Response-Modell.....	218

Abbildung 31: Prinzip der kognitivistischen Lerntheorie	220
Abbildung 32: Auswahl geordnet nach Schulstufen.....	228
Abbildung 33: Auswahl über "Dropdown-Menü"	228
Abbildung 34: Multiple Choice-Felder.....	229
Abbildung 35: Stromkreis virtuelles Experiment	242
Abbildung 36: Stromkreis reales Experiment.....	243
Abbildung 37: Hebelgesetz virtueller Versuch	243
Abbildung 38: Schülerinnen- und Schülerversuche zum Hebelgesetz am PC.....	244
Abbildung 39: Hebelgesetz realer Versuch	244
Abbildung 40: Stichprobe aufgeteilt nach Testzeitpunkt	257
Abbildung 41: Stichprobe aufgeteilt nach Geschlecht	258
Abbildung 42: Stichprobe aufgeteilt nach Schulklasse	258
Abbildung 43: Stichprobe aufgeteilt nach Lebensalter.....	259
Abbildung 44: Planung der Stichprobengröße (grafische Darstellung)	262
Abbildung 45: Teststärke tatsächlich	262
Abbildung 46: Motivationslage intrinsische Regulation	274
Abbildung 47: Intrinsische Regulation nach Schulstufen	275
Abbildung 48: Intrinsische Regulation nach Schulklassen, Boxplot.....	276
Abbildung 49: Kritischer und empirischer F-Wert	277
Abbildung 50: Profildiagramm zur intrinsischen Regulation.....	278
Abbildung 51: Boxplotvergleich intrinsische Regulation	279
Abbildung 52: Motivationslage, aktuelle Motivation, Komponente Herausforderung	281
Abbildung 53: Aktuelle Motivation (Komponente Herausforderung) nach Schulstufen.....	282
Abbildung 54: Aktuelle Motivation (Komponente Herausforderung) nach Schulklassen, Boxplot.....	283
Abbildung 55: Profildiagramm zur Komponente Herausforderung.....	284
Abbildung 56: Boxplotvergleich Herausforderung.....	285
Abbildung 57: Deskriptive Statistiken zu Hypothese 2.....	286
Abbildung 58: Motivationslage, aktuelle Motivation, Komponente Interesse	287
Abbildung 59: Aktuelle Motivation (Komponente Interesse) nach Schulstufen.....	288
Abbildung 60: Akt. Motivation (Komponente Interesse) nach Schulklassen, Boxplot	289
Abbildung 61: Profildiagramm zur Komponente Interesse.....	290
Abbildung 62: Boxplotvergleich Interesse.....	291
Abbildung 63: Motivationslage, aktuelle Motivation, Komponente Misserfolgsbefürchtung	294

Abbildung 64: Aktuelle Motivation (Misserfolgsbefürchtung) nach Schulstufen	295
Abbildung 65: Aktuelle Motivation (Komponente Misserfolgsbefürchtung) nach Schulklassen ..	296
Abbildung 66: Komponente Misserfolgsbefürchtung nach Testzeitpunkt	297
Abbildung 67: Boxplotvergleich Misserfolgsbefürchtung	298
Abbildung 68: Flow-Erleben.....	299
Abbildung 69: Flow-Erleben nach Schulklassen.....	300
Abbildung 70: Flow-Erleben nach Schulklassen, Boxplot.....	301
Abbildung 71: Profildigramm Flow-Erleben.....	303
Abbildung 72: Boxplotvergleich Flow-Erleben	304
Abbildung 73: Autonomieerleben.....	305
Abbildung 74: Autonomieerleben nach Schulklassen.....	306
Abbildung 75: Autonomieerleben nach Schulklassen, Boxplot.....	307
Abbildung 76: Profildigramm Autonomieerleben.....	308
Abbildung 77: Boxplotvergleich Autonomieerleben	309
Abbildung 78: Kompetenzerleben.....	311
Abbildung 79: Kompetenzerleben nach Schulklassen.....	312
Abbildung 80: Kompetenzerleben nach Schulklassen, Boxplot.....	312
Abbildung 81: Profildigramm Kompetenzerleben:.....	315
Abbildung 82: Boxplotvergleich Kompetenzerleben	316
Abbildung 83: Zugriffe nach Tageszeit	319
Abbildung 84: Zugriffe nach Wochentag.....	320
Abbildung 85: Zugriffe nach Geräteart.....	321
Abbildung 86: Detaillierte Itemübersicht Hypothese 1	403
Abbildung 87: Detaillierte Itemübersicht Hypothese 2	405
Abbildung 88: Detaillierte Itemübersicht Hypothese 3	407
Abbildung 89: Detaillierte Itemübersicht Hypothese 4 und 5	409
Abbildung 90: Detaillierte Itemübersicht Hypothese 6	411
Abbildung 91: Detaillierte Itemübersicht Hypothese 7	413
Abbildung 92: Detaillierte Itemübersicht Hypothese 8	415

1 Einleitung

Die Bedeutung und der Einsatzbereich des physikalischen Experiments unterlagen im Laufe der Geschichte ständigen Veränderungen (vgl. Heidelberger, 1997, S. 1). Vom reinen Beobachten in der Antike (Heidelberger, 1997, S. 1) entwickelte sich der physikalische Versuch immer mehr zu geplanten Abläufen (vgl. Scobel, Lindström & Langkau, 2002, S. 3; Maisyenko, 2014, S. 13f.). Das Experiment hat das Potenzial, durch die Veranschaulichung abstrakt erlebte Dinge erlebbar zu machen und somit die Brücke zur Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler zu schlagen (vgl. Lechte, 2008, S. 236). Dabei dient das Experiment nicht nur dem Verständnis, sondern es wird auch von den Schülerinnen und Schülern als „Nachweis für die Realbedeutsamkeit“ (ebd., S. 237) interpretiert. Nach Kircher, Girwitz und Häußler (2010, S. 240) haben die Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I erst geringe Fähigkeiten und Fertigkeiten zur selbstständigen Durchführung von physikalischen Experimenten. Daher ist nicht nur der Erkenntnisgewinn beim Schülerinnen- und Schülerexperiment wichtig, sondern auch der Erwerb fachspezifischer Arbeitsweisen, die Erfahrung, dass Theorie und Praxis ineinander verquickt sind. Besonders förderungswürdige Komponenten wie „Motivation und Werthaltungen (Freude an der Physik, präzises, zielstrebiges Arbeiten, Ausdauer)“ kommen noch hinzu. (ebd., S. 240)

Wie soeben dargestellt, herrscht in der Forschung Einstimmigkeit darüber, dass das Experiment im Physikunterricht eine zentrale Rolle einnimmt. In diesem Kontext ist es umso verwunderlicher, dass es im deutschen und angloamerikanischen Sprachraum wenig einschlägige Forschungsarbeiten zum „herkömmlichen“ Schülerinnen- und Schülerversuch gibt:

Es gibt [sogar] erstaunlich wenige Untersuchungen zur Praxis des Experimentierens im „normalen“ Physikunterricht. [...] Das Experiment spielt eine wichtige Rolle, aber das Schülerexperiment ist eher randständig. [...] Schülerinnen und Schüler haben nur wenige Gelegenheiten, eigenständig Versuche zu planen, Hypothesen zu entwickeln und Schlussfolgerungen zu ziehen. Das breite Spektrum

Einleitung

anspruchsvoller Eigentätigkeiten, die das Experimentieren im Prinzip bietet, wird in der Praxis unzureichend genutzt. (Duit, Tesch & Mikelskis-Seifert, 2010, S. 3)

In einem ähnlichen Kontext merkte Hucke bereits im Jahr 2000 (S. 142) an, dass es „im Hinblick auf Praktika nur sehr wenige Untersuchungen [gibt], die affektive Variablen berücksichtigen.“

Guderian, Priemer und Schön (2006, S. 145) gehen davon aus, dass der eigentliche Sinn von Schülerlaboren darin besteht, bei den Lernenden das Forschungsinteresse zu wecken. Auch hier merken die Autoren an, dass die tatsächlich erzielten Effekte „bislang jedoch kaum erforscht“ (ebd., S. 145) sind.

Durch die rasante Entwicklung im Bereich moderner Technologien reicht es heutzutage nicht mehr aus, sich bei der Evaluation bestimmter Unterrichtsmethoden im Physikunterricht auf das herkömmliche Schülerinnen- und Schülerexperiment zu beschränken. Man kommt nicht umhin, Neue Medien sowie moderne Unterrichtsmittel einzubinden. Neben Lesen, Schreiben und Rechnen wird der Computereinsatz in all seinen Facetten vielerorts bereits als vierte Kulturtechnik angesehen (vgl. Bentlage, 2003, S. 100). Gleichsam hat das Internet immer mehr an Bedeutung gewonnen und ist im Bildungsbereich nicht mehr wegzudenken.

Die neuen Informations- und Kommunikationstechnologien und die damit verbundenen Chancen aber auch Risiken stellen die Lehrkräfte vor viele Herausforderungen. Der bestehende Erziehungs- und Bildungsauftrag muss dahingehend verändert werden, dass Neue Medien sinnvoll im pädagogischen Kontext eingesetzt werden und ein verantwortungsvoller Umgang realisiert wird (vgl. Weritz, 2011, S. 146).

Empirische Studien belegen, dass computerbasierte Schülerinnen- und Schülerexperimente und interaktiven Simulationen einen positiven Einfluss auf Motivation und Lernerfolg haben (vgl. Künsting, Thillmann, Wirth, Fischer & Leutner, 2008, S. 2; Nistor, Schnurer & Mandl, 2005, S. 19).

Finkelstein et al. (2005, S. 7) kommen in ihrer Forschungsarbeit „When learning about the real world is better done virtually“ zu einem sehr ähnlichen Ergebnis. Der Vergleich

Einleitung

von drei Studentinnen- und Studentengruppen, die entweder keine Versuche oder passende reale Versuche oder Versuche am Computer mittels virtuellem Multimeter durchgeführt hatten, zeigte, dass die Studentinnen und Studenten, die unter Zuhilfenahme von virtuellen Messinstrumenten arbeiteten, die besten Abschlussarbeiten hervorbrachten.

In these studies, students who used computer simulations in lieu of real equipment performed better on conceptual questions related to simple circuits, and developed a greater facility at manipulating real components. (Finkelstein et al., 2005, S. 7)

Finkelstein et al. (ebd., S. 7) sehen in den Simulationen eine Ergänzung zu den realen Versuchsinstrumenten. Computersimulationen sind ein weiteres Werkzeug, das das Lernen der Schülerinnen und Schüler fördert. Finkelstein et al. (ebd., S. 2ff.) setzten ihre virtuellen Versuche dazu ein, um einfache Gleichstromkreise zu untersuchen und zu erarbeiten. Der Einsatz von virtuellen Messinstrumenten und Versuchsaufbauten förderte das Verständnis besser als reale Aufbauten.

So kommen Finkelstein et al. zu dem Schluss, dass – auch wenn der Computer keine pädagogische Wunderwaffe ist – virtuelle Versuche und Simulationen, wenn sie optisch und inhaltlich passend aufgebaut sind, Bestandteil des Unterrichts sein sollten.

We answer yes, providing simulations are properly designed and applied in the appropriate contexts. (Finkelstein et al., 2005, S. 7)

Schmekel (2009, S. 13) kam in seiner Studie „Sind Computersimulationen geeigneter als Schülerexperimente, um das Verständnis elektrischer Grundschaltungen zu verbessern?“ zu demselben Ergebnis: „So können sich die Computersimulationen gegenüber den gewöhnlichen Schülerexperimenten behaupten.“ (Schmekel, 2009, S. 13)

Aufgrund dieser Forschungsergebnisse kann davon ausgegangen werden, dass die Verwendung von Neuen Medien im Physikunterricht, insbesondere die Durchführung virtueller Experimente in der Sekundarstufe I für die Lernenden vorteilhaft ist und den Lernerfolg keinesfalls beeinträchtigt.

Einleitung

Der Fokus der vorliegenden Arbeit liegt hingegen nicht auf der Lernwirksamkeit Neuer Medien im experimentellen Physikunterricht (vgl. auch Studie von Brell, 2008), sondern auf der Erforschung der Motivation der Lernenden im Sekundarstufenbereich I bei der Durchführung virtueller physikalischer Experimente. Trotz intensiver Recherche konnte keine Studie gefunden werden, die sich mit diesem Thema eingehend befasst.

Der Zusammenhang von virtuellen Experimenten und Motivation ist also noch unzureichend beforscht, daher geht die gegenständliche Arbeit der Forschungsfrage „Welche Auswirkungen hat der Einsatz von virtuell durchgeführten physikalischen Experimenten im Sekundarstufenbereich I auf die Motivation der Lernenden?“ nach.

Sie ist in zwei Bereiche gegliedert. Der erste Teil nimmt auf die theoretischen Grundlagen Bezug. Zu Beginn liegt der Fokus auf dem physikalischen Experiment. Hier wird unter anderem der geschichtliche Hintergrund beleuchtet. Von der Antike bis hin zum Mittelalter war die Naturwissenschaft von passivem Beobachten geprägt (vgl. Heidelberger, S. 1), während in der Neuzeit Experimente als gezielt eingeleitete Beobachtungen geplant sind (vgl. Scobel, Lindström & Langkau, 2002, S. 3).

Außerdem wird auf die Bedeutung des Schülerinnen- und Schülerexperiments Bezug genommen und die Überleitung zum naturwissenschaftlichen Denken gelegt. Danach werden Motivationsfaktoren für guten Physikunterricht (vgl. Merzyn, 2015, S. 5f.) sowie der aktuelle Forschungsstand aus Lernpsychologie, Wahrnehmungspsychologie, Pädagogik, Motivationspsychologie und physikalischen Arbeitsweisen diskutiert (vgl. Kircher et al., 2015, S. 235f.). In weiterer Folge wird auf fachdidaktische, fachwissenschaftliche und psychologische Gesichtspunkte Rücksicht genommen (vgl. Barzel, Reinhoffer & Schrenk, 2012, S. 103). Schließlich werden bisherige Erkenntnisse zur Motivationssteigerung beim physikalischen Experiment in Verbindung mit Notebook oder Smartphone dargestellt (vgl. Möslinger, 2012, S. 33).

Ebenfalls im Kapitel theoretische Grundlagen wird der Begriff „Medium“ näher erläutert. Insbesondere wird auf Medien, die im Physikunterricht verwendet werden, eingegangen. Fließend wird auf „Neue Medien“ übergeleitet. Dieser Abschnitt der Arbeit ist von Bezeichnungen wie digitale Unterrichtsmedien, Multimedia, didaktischer Einsatz von Medien, Internetnutzung im Physikunterricht, Interaktivität,

Einleitung

Computereinsatz in der Schule, E-Learning, Simulation und Online-Labor geprägt. Diese Termini werden nach dem aktuellen Stand der Forschung definiert und leiten zu virtuellen Realitäten, virtuellen Lernräumen und Lernorten und letztendlich zum virtuellen Experiment über.

Das Kapitel Motivation des theoretischen Teils beleuchtet zunächst den geschichtlichen Weg des Motivationsbegriffs. Insbesondere wird auf die Unterschiede und Gemeinsamkeiten von Lern- und Leistungsmotivation eingegangen. In Folge werden Termini wie Motivation, Gefühl und Motiv definiert und der Kontext zu dieser Arbeit hergestellt. Besondere Beachtung findet hier die Selbstbestimmungstheorie der Motivation nach Deci und Ryan. Anschließend steht der motivationstechnisch äußerst relevante Begriff des Interesses im Mittelpunkt. Nach einer Darstellung der historischen Entwicklung des Begriffs wird auf moderne Interessenstheorien besonderer Wert gelegt. Dann wird das Interesse an physikalischen Laboren sowie an virtuell durchgeführten Versuchen näher beleuchtet. Außerdem sind die geschlechtsspezifischen Unterschiede im Zusammenhang mit dem physikalischen Interesse von Bedeutung.

Im nachfolgenden Kapitel werden die behavioristische und die kognitivistische Lerntheorie, sowie der Konstruktivismus als Basis für neue Unterrichtsmethoden im Physikunterricht dargelegt.

Im empirisch explorativen Teil dieser Forschungsarbeit wird der Forschungsfrage „Welche Auswirkungen hat der Einsatz von virtuell durchgeführten physikalischen Experimenten im Sekundarstufenbereich I auf die Motivation der Lernenden?“ nachgegangen. Hierfür wurden 1.211 Datensätze von Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I mittels einer Online-Befragung erhoben. Dies diente dazu, acht aufgestellte Hypothesen zur Motivationslage (intrinsische Regulation, aktuelle Motivation – Komponente Herausforderung, Komponente Interesse, Komponente Erfolgswahrscheinlichkeit, Komponente Misserfolgsbefürchtung, Flow-Erleben, Autonomieerleben und Kompetenzerleben) zu beantworten.

Im Kapitel Ergebnisse und Diskussion werden die quantitativen Resultate dargestellt und interpretiert, sowie ein kritischer und zukunftsweisender Ausblick gegeben.

Das nun folgende Kapitel soll die generelle Bedeutung und didaktische Notwendigkeit des Experiments im Physikunterricht belegen und den Zusammenhang zur Schülerinnen- und Schülermotivation darstellen. Auch die zunehmende Bedeutung der Neuen Medien in diesem Bereich wird verdeutlicht.

2 Stand der Forschung

Die Naturwissenschaft Physik beschäftigt sich mit den Grundbausteinen der Welt und deren gegenseitigen Wechselwirkungen. Das Ziel physikalischer Forschung ist es, komplexe Naturvorgänge auf einfache Gesetzmäßigkeiten zurückzuführen und bestehende Zusammenhänge und beobachtbare Phänomene durch wenige Grundprinzipien zu erklären (vgl. Demtröder, 2005, S. 1; Walcher, 2013 S. 17; Otten, 2013, S. 1). Röß (2011, S. 9) untermauert diese Aussage, indem er bestätigt, dass die Physik die „fundamentalen Wechselwirkungen in der Natur“ erforscht.

Ähnlich definiert Meschede (2015, S. 0) den Begriff „Physik“:

Physik beobachtet und beschreibt die materiellen Eigenschaften der Welt, in der wir leben. Interesse und Anspruch reichen von den kleinsten (subatomaren) bis zu den größten (kosmischen) Phänomenen.

Kircher, Girwidz und Häußler (2010, S. 5) postulieren, dass das Experiment in der Physik ein ganz zentrales Element ist. Zur Erlangung von Erkenntnissen werden Versuche aufgebaut, Messgeräte kontrolliert, Daten festgehalten und bei Bedarf Versuche wiederholt. Dies führt zum Begriff der Experimentalphysik (vgl. Martienssen & Röß, 2011, S. 2).

Klinger (2006, S. 8) merkt an, dass sich das Experimentieren in den letzten Jahrzehnten stark geändert hat. Mussten Anfang der sechziger Jahre Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler elektronische Messgeräte oftmals noch selbst entwickeln und zusammenlöten, so gibt es heutzutage eine hochentwickelte physikalische Industrie, die Präzisionsgeräte liefern kann. Veröffentlichungen, die mit

Tusche, Schablonen und Lineal hergestellt werden mussten, werden heute größtenteils unter Zuhilfenahme des Computers erstellt.

Diese Veränderung hat auch vor den Schulen nicht Halt gemacht. Hier gibt es zwar eine Vielzahl physikalischer Versuche, die mit relativ geringen Vorbereitungsarbeiten durchgeführt werden können und daher für den Schulunterricht gut geeignet sind. Jedoch ist es oft auch nötig, modernste, sehr aufwändige technische Geräte zu verwenden, um brauchbare Ergebnisse zu erhalten. Dies setzt meist größere finanzielle Investitionen voraus (vgl. Kircher et al., 2010, S. 5f.).

Außerdem besteht nach Teichmann, Ball und Wagnmüller (1999, S. 4) eine Diskrepanz zwischen dem Experiment im Unterricht und dem Experiment in der Forschung. Während Schulexperimente idealisiert sind, stehen bei Experimenten, die wissenschaftsbezogenen Hintergrund haben, theoretische Überlegungen im Vordergrund. Versuche im Physikunterricht geben vielfach ein verzerrtes Bild der wissenschaftlichen Vorgangsweise (Hypothese → Beobachtung → Experiment → Theorie) wieder.

Dennoch wird im Schulbereich das Experimentieren neben der Erforschung (vgl. Tesch & Duit, 2004, S. 53) von Naturgesetzen stark favorisiert.

Es stellt ein zentrales Element in der naturwissenschaftlichen Methodik dar (vgl. Thomsen & Jeschke, 2010, S. 207; Völker & Trefzger, 2011, S. 5).

Rieß, Wirtz, Schulz und Barzel (2012, S. 154) messen der Bedeutung des Experiments, sowie der Kompetenz, selbst Versuche durchführen zu können, höchste Priorität zu. Allerdings verweisen sie auch explizit darauf hin, dass beim Experiment eine „isolierende Variation der Bedingungen“ (ebd., S. 154) vorgenommen wird. Rieß et al. (ebd., S. 154) betonen, dass das Experiment im Unterricht nach einem bestimmten Plan ablaufen soll und wiederholbar sein muss. Planbarkeit und Wiederholbarkeit bilden als wissenschaftliche Erkenntnismethoden die Basis jedes naturwissenschaftlichen Unterrichts. Teichmann et al. (1986, S. 4) sind der Meinung, dass die Schule die Aufgabe und anhand von Experimenten auch die Möglichkeit hat, Physik als Wissenschaft zu vermitteln. Die Autoren empfehlen zum Beispiel das Nachstellen historischer Versuche, „weil [diese] im Gegensatz zu den üblichen Schulexperimenten die eingeschränkte Bedeutung des Nachweisexperiments in der wirklichen Forschung aufzeig[en]“. (ebd., S. 4) Der historische Kontext dient also dazu, nochmals in die Rolle der Entdeckerin oder des Entdeckers zu schlüpfen. So kann

Experimentieren die Eigenständigkeit und Leistungsbereitschaft der Schülerinnen und Schüler fördern (vgl. Tesch & Duit, 2004, S. 53). Asmussen (2010, S. 1ff.) und Schießmann (2012, S. 1ff.) vertreten sogar die Meinung, dass Versuche klüger machen würden.

Bruhn (1993, S. 197) erweitert diese Auffassung dahingehend, dass er die Aufgabe des naturwissenschaftlichen Unterrichts nicht nur darin sieht, eine Grundlage für das Verständnis von Schlüsselproblemen zu geben, sondern es soll auch ein umfassendes Bild von Wissenschaft vermittelt werden. Zu diesem Zweck sollten Schülerinnen- und Schülerexperimente im Sinne von physikalischem „Werken“ in den Unterricht mit eingebaut werden (vgl. auch Brand, 2013, S. 4).

Nach Altherr, Vetter, Eckert und Jodl (2005, S. 1) nimmt das reale Experiment eine zentrale Rolle in der Schule ein. Seit den neunziger Jahren werden aber auch rechnergestützte Animationen und interaktive Simulationen vermehrt eingesetzt und verstärken somit die Bedeutung der Experimente.

In vielen Fällen sind die Versuche mit Alltagsgegenständen gefahrlos und kostengünstig durchführbar. Manche physikalischen Versuche lassen sich jedoch weder als Lehrerinnen- oder Lehrerversuch noch als Schülerinnen- und Schülerversuch real verwirklichen. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn Versuche zu teuer oder zu gefährlich sind. Ebenso eignen sich manche Versuche auf Grund ihrer Verlaufsgeschwindigkeit nicht für den Unterricht, der Versuchsablauf wäre für Beobachtungen zu schnell oder zu langsam (vgl. Schedler, Schroffenegger, Pichler & Plaschke, 2013, S. 1; Thoms & Girwidz, 2012, S. 113; Bungartz, Zimmer, Buchholz & Pflüger, 2013, S. 2; Dangelmaier, Laroque, 2014, S. 1).

Kröger und Breuer (2011, S. 133) verweisen explizit auf die Bedeutung von Simulationen im Physikunterricht.

Insbesondere im Physikunterricht, aber auch in anderen naturwissenschaftlichen Fächern, bieten sich dabei Simulationen an, da die Schülerinnen und Schüler hier mit Umgebungen und Handlungen experimentieren können, die in der Realität nicht (ohne Weiteres) erfahrbar sind.

Höntzsch et al. (2013, S. 8) ergänzen dazu Folgendes: Neben der Ungefährlichkeit haben virtuelle Versuche auch die Vorteile von hoher Mobilität, keinem Materialverschleiß teurer Geräte, keiner Gefahr der Beschädigung teurer Instrumente,

Schaffung realistischer Ausgangssituationen und der Möglichkeit der Modifikation von Umgebungsvariablen wie Wetter, Lichtverhältnissen usw.

Scherp und Schlattmann (2002, S. 9) verweisen in der Zusammenfassung ihrer Studie „Virtuelle Labore für den naturwissenschaftlichen (Schul-)Unterricht“ darauf, dass die wesentlichen Vorteile „die Möglichkeit zur aktiven Durchführung von Versuchen anstelle des passiven Beobachtens, [die] gefahrlose Durchführung und die damit verbundene größere Versuchsvielfalt für die Schüler [sind].“ (ebd., S. 9)

Allerdings gibt es nach Höntzsch et al. (ebd., S. 8) auch Nachteile von virtuellen Umgebungen. Ein Nachteil der virtuellen Umwelt kann die „ästhetische Distanz“ zur Realität sein. Der Transfer zum Gelernten kann nicht immer gesichert vollzogen werden. Wie zum Beispiel bei Piloten, die nur im Simulator trainieren, stellt der erste Praxiseinsatz aufgrund der erhöhten Verantwortung immer eine spezielle Herausforderung dar.

Für den Unterricht überwiegen jedoch meist die Vorteile. Obwohl aus Kostengründen nicht immer ausreichend Equipment für Versuche zur Verfügung steht, sind sie neben den theoretischen Untersuchungsmethoden trotzdem zwingender Bestandteil jedes naturwissenschaftlichen Unterrichts (vgl. Thomsen & Jeschke, 2010, S. 207).

So entstand in den letzten Jahren eine Vielzahl an Möglichkeiten, den Physikunterricht durch die Verwendung von virtuellen Versuchen zu bereichern. Vor allem der „Einsatz von Neuen Medien und Neuen Technologien im Unterricht stellt [...] einen Wendepunkt dar.“ (Thomsen & Jeschke, 2010, S. 207)

Multimediale Labore ermöglichen Experimente unabhängig von örtlichen und zeitlichen Einschränkungen. Es werden nun Versuche, [...] „die aus Sicherheits-, Kosten- oder Platzgründen bisher unmöglich bzw. unzugänglich waren“ [...], realisierbar. (Thomsen & Jeschke, 2010, S. 207; vgl. Suhl, 2014, o. S., online)

Neben der Möglichkeit der Selbsterstellung von Versuchen am Computer findet man im Internet viele Anwendungen, die sich in den Themenkreis virtueller Versuche einordnen lassen (vgl. Junglas, 2003 S. 5). Immer mehr Bildungseinrichtungen, wie zum Beispiel die Universität Bayreuth, stellen virtuelle Versuche zur Verfügung (vgl. Weber, 2015, online, o. S.)

Zur Verdeutlichung der Relevanz von virtuellen Simulationstechniken in der Ausbildung sei zum Beispiel auf den Bereich der Augenmedizin hingewiesen. Um die

Sicherheit der Patientinnen und Patienten zu erhöhen, floss die Verwendung von „Operationssimulatoren in die traditionelle Ausbildung“ ein. (Pahor, 2013, S. 269) So bekam die Fakultät der Universität Maribor im Jahr 2013 ein virtuelles Trainingsmodul, um Kataraktoperationen am Simulator zu trainieren. Der Vorteil ist, dass weder zusätzliches Zubehör noch Gewebe benötigt wird. Nach dem Arbeiten am Operationssimulator wurden Trainingsresultate evaluiert. Die „Ergebnisse dieser Studien zeigten, dass die Simulationstrainings Präzision und chirurgische Fertigkeiten tatsächlich und wirksam verbessern.“ (Pahor, 2013, S. 272) Eine Studie konnte sogar zeigen, dass die Komplikationsrate bei Kataraktoperationen von 6,3% auf 3,5% gesenkt werden konnte. Nach Pahor (ebd., S. 272) nimmt die Bedeutung an Operationssimulatoren stetig zu. Aufgrund der Effektivitätssteigerung sollte „[d]as Training am Simulator [...] ein fester Bestandteil des Ausbildungsprozesses werden und somit die Lernkurven verkürzen, zugleich aber auch für eine Ausbildung ohne Risiko für den Patienten sorgen.“ (ebd., S. 272) Pahor (ebd., S. 272) fordert die Aufnahme von Simulationstrainingsprogrammen in die jeweiligen Curricula, um Grundfertigkeiten wie zum Beispiel Hand-Augen-Koordination oder Tiefeneffekt zu fördern.

Besondere Relevanz haben virtuelle Versuche im naturwissenschaftlichen Bereich in letzter Zeit dadurch erfahren, dass im Jahr 2013 der Chemie-Nobelpreis an Martin Karplus, Michael Levitt und Arieh Warshel verliehen wurde. Sie haben es mit Hilfe neuer medialer Methoden geschafft, komplexe chemische Reaktionen virtuell nachzuvollziehen und konnten so die höchste Auszeichnung auf dem Gebiet der Naturwissenschaften erlangen. Die Königlich Schwedische Akademie in Stockholm begründete die Verleihung des Nobelpreises damit, dass Computermodelle, die die reale Lebenswelt widerspiegeln können, entscheidend für den Fortschritt unserer Zeit sind. Auch für den Bereich der Physik ist die Leistung von Karplus, Levitt und Warshel maßgeblich, da es in Anlehnung an ihre Erkenntnisse auch möglich wird, die Gesetze der klassischen Physik mit jenen fundamental anderen Gesetzen der Quantenphysik zu vereinigen (vgl. Sparks et al., 2014, S. 66; Merkel, 2013, o. S., online).

In starkem Gegensatz zu diesen Erfolgen und der Anerkennung der Leistungen der höheren Forschungsebene steht das stetig sinkende Interesse an der basalen Vermittlung von naturwissenschaftlichen Erkenntnissen in der Schule (vgl. Guderian, 2007, S. 53ff.).

Guderian (2007, S. 53) sieht nach seiner Studie – wie auch in Kapitel 3.14 näher beschrieben – den Grund für diese Problematik darin, dass im Schulunterricht die uninteressantesten Aspekte übermäßig gelehrt werden und „scheinbar vor allem Tätigkeiten im Unterricht eine besondere Beachtung geschenkt [wird], die sich auf formal abstraktem Wege mit der theoretisch-konstruktivistischen Charakteristik der Physik auseinandersetzen“ (ebd., S. 53). Auch Daniels (2008, S. 12) bestätigt, dass eine Reduktion des fachspezifischen Interesses in der Sekundarstufe I auftritt. Er führt dies allerdings auf die körperliche Entwicklung, auf beginnende Freund- und Partnerschaften und verstärkte Geschlechtsrollenvorstellungen zurück. Wie Pawek (2012, S. 92) sieht aber auch Daniels (ebd., S. 12) als zusätzliche Ursache für die Verminderung des fachspezifischen Interesses die „mangelnde Passung von Unterrichtsbedingungen“.

Nach Guderian (2007, S. 53) muss das Potenzial des forschenden Lehrens und Lernens in den Fokus gestellt werden, um das Interesse und die Motivation hochzuhalten.

Dabei stellen Physik und Naturwissenschaften im Allgemeinen gegenüber anderen Fächern ein großes Arsenal an motivationsfördernden Instrumenten zur Verfügung: über sogenanntes forschendes Lehren (inquiry learning) könnten die Schüler selbstständig Hypothesen aufstellen, Experimente planen und durchführen, sowie Ergebnisse interpretieren, diskutieren und präsentieren. Guderian (2007, S. 53)

Hucke (2000, S. 149) verweist in seinen Untersuchungsergebnissen ebenfalls darauf, „dass neben den kognitiven Voraussetzungen der Studierenden affektive Variablen wie Einstellung, Interesse oder Motivation eine Rolle beim Lernen“ spielen. Klocker und Schwarzer (2000, S. 8) fordern in ihrer Studie, in der es um optische Abbildungen, Simulationen am Computer und Kontrolle durch reale Experimente geht, dass man sich mehr Gedanken über die Motivation der Lernenden machen sollte. Auch sie sehen, wie soeben erwähnt, die Freiräume der Schülerinnen und Schüler und die damit verbundenen Eigenkompetenzen als zentrale Aspekte, die Motivation aufrecht zu erhalten (vgl. ebd., S. 8). Ihre Forschungsergebnisse sind für die vorliegende Studie sehr interessant. Sie unterteilten die Schülerinnen und Schüler in eine „Informatikgruppe“ und eine klassische „Physikgruppe“ (vgl. Klocker und Schwarzer,

2000, S. 3) und stellten fest, dass „[i]n der Informatikgruppe [...] die Motivation der Schüler wesentlich höher [war]“, leider geben sie keine detaillierte Begründung für diese Tatsache an (ebd., S. 10).

Fuhrmann (1999, S. 109) konnte bei seiner Untersuchung von Physikstudentinnen und -studenten aber schon zuvor belegen, dass die Entwicklung eines Physikbaukastens mittels der Computersprache Java eine Steigerung der Motivation bewirkte.

Die größte Überraschung war jedoch die hohe Motivation, mit der die Studenten am Praktikum teilnahmen. (ebd., S. 109)

Er führt „diese Motivation auf die Freiheit zurück [...] eigene Ideen zu entwickeln und am Computer zu überprüfen. Die Studentinnen und Studenten hatten die Möglichkeit, das starre Korsett von festgelegten Experimenten abzulegen und gleichsam eigene Ideen zu entwickeln und mittels Computer umzusetzen.

Diese Freiheit zusammen mit der unmittelbaren Rückkopplung durch das Computereperiment bewirkte offenbar den beobachteten großen Motivationsschub. (Fuhrmann, 1999, S. 109)

Darauf aufbauend stellt Pawek (2012, S. 92) in seinen Forschungen das Schülerinnen- und Schülerinteresse in Verbindung mit realen Schülerlaboren dar und konstatiert, dass „die wichtigsten interessefördernden Merkmale Verständlichkeit, Betreuung/Atmosphäre und Authentizität sind.“ Er (ebd., S. 92) fordert eine Verzahnung von Schülerinnen- und Schülerlaboren in Form von „aufeinander aufbauenden Veranstaltungen“, um einem Verblässen interessensfördernder Merkmale entgegen zu wirken.

Guderian (2007, S. 53) führt – wie in Kapitel 3.13.9 ausführlich beschrieben – die drei Grundbedürfnisse Kompetenzerleben, Autonomieerleben und Wunsch nach sozialer Eingebundenheit als Maßnahmen an, Interesse und Motivation zu fördern. Er geht demnach in seiner Studie zusätzlich zu den bisher genannten Faktoren davon aus, dass „[a]ußerschulische Lernorte wie [...] Museen entsprechender Ausrichtung [...] mit vielfältigen Angeboten neben der Schule einen positiven Beitrag zur naturwissenschaftlichen Grundbildung [...] und [...] zur Förderung des Interesses an Naturwissenschaften leisten.“ (Guderian, 2007, S. 1) Zu Beginn der Untersuchung stellt er (ebd., S. 1) die Vermutung an, dass „[i]n [externen] Schülerlaboren [die] Schüler im Allgemeinen die Möglichkeit [haben], sich intensiv mit

naturwissenschaftlichen Problemen zu beschäftigen und selbstständig Experimente durchzuführen. Dabei stellen die Schülerlabore Rahmenbedingungen bereit, die Schulen meist nicht bieten können.“

Die Ergebnisse der Studie von Guderian (ebd., S. 165) liefern für die vorliegende Arbeit äußerst wertvolle und interessante Aufschlüsse:

So rufen „[e]in- oder mehrmalige Besuche eines außerschulischen Lernortes ohne Einbindung in den Unterricht [...] kurzfristige Steigerungen [...] des Interesses von Schülern [...] hervor. Mehrmalige Besuche eines außerschulischen Lernortes ohne Einbindung in den Unterricht beeinflussen insofern [...] das Interess[e] von Schülern aller Jahrgangsstufen an den Inhalten der Lerneinheiten, als dass auf ein Ansteigen unmittelbar nach einem Besuch ein Abfallen in einem mehrwöchigen Abstand [...] folgt. Die curriculare Verknüpfung mehrmaliger Besuche eines außerschulischen Lernortes mit dem Schulunterricht führt zu einer Stabilisierung der wertbezogenen und der epistemischen Komponente des aktuellen Interesses von Schülern aller Jahrgangsstufen an den Inhalten der Lerneinheiten.“ (Guderian, 2007, S. 165).

Die Forschungsergebnisse von Guderian verdeutlichen, dass die angebotenen Versuche in den Schülerinnen- und Schülerlaboren in unmittelbarem Zusammenhang mit dem Curriculum stehen müssen und nicht als einmaliges „Highlight“ angeboten werden dürfen. Sie müssen Bestandteil des Unterrichts werden.

Für die Folgen von Motivation zeigt Weinert (1999, S. 25) zwar, dass es keinen unmittelbar direkten Zusammenhang zwischen Motivation und kognitiver Kompetenz gibt². Dennoch ist die Freude im hier untersuchten Fach Mathematik sowie die Vermutung, dass die Kenntnis über die Lerninhalte für das eigene Leben von Bedeutung sein werden, der Grund dafür, dass Lernende häufiger und intensiver die angebotenen Lerngelegenheiten nützen, als Jugendliche, die von sich behaupten, nur wenig Kompetenzen zu besitzen. Motivation ist somit für den Lernprozess und die Leistungsentwicklung von entscheidender Bedeutung (vgl. Prenzel et al., 2012, S. 100; Weinert, 1999, S. 25³).

² „There is no direct psychological relation between cognitive competence and general motivational systems (e.g., achievement motivation).“ (Weinert, 1999, S. 25)

³ „That is, the addition of measures of dispositional motives does not increase multiple correlations between individual competence and cognitive performance. However, this changes if one supplements measures of general motivational systems (need for achievement, security or social contact) with measures of competence-related motivational attitudes. These include: Self-confidence in specific

Krapp (1998, S. 185 ff.; 2003, S. 101) belegt in seinen Studien, dass Interesse starken Einfluss auf die Motivation und diese wiederum Einfluss auf die Lernleistung hat.

*Die prinzipielle Relevanz der mit diesen Bedürfnissen gekoppelten Erfahrungen und Erlebensqualitäten für den Prozess der Motiv- und Interessengenerierung im Unterricht ist wissenschaftlich vielfältig belegt.
(Krapp, 2003, S. 101)*

Schiefele & Streblow (2006, S. 233) zeigen beinahe zehn Jahre später neuerlich, dass motivierte Schulkinder im Lernprozess eine bessere Erlebensqualität haben und sich um den Erwerb des Wissens deutlich mehr bemühen. Sie erzielen dadurch bessere Leistungen.

Prenzel et al. (2012, S. 100) sprechen in diesen Fall von mehrdimensionalen Bildungszielen.

Für den Mathematikunterricht sind bezüglich Motivation die Studien PISA 2003 als auch PISA 2012 heranzuziehen. Wie bei der vorliegenden Arbeit, wurden auch in der PISA-Studie 2012, die die Altersgruppe der Fünfzehnjährigen untersucht, „diese Ziele [...] primär mit Hilfe von Fragebögen erfasst.“ (ebd., S. 100)

PISA 2012 diente also nicht nur zur Überprüfung von fachlichen Kompetenzen, sondern „[a]ls Ergebnisse w[ur]den neben den Kompetenzen in Mathematik, Lesen und Naturwissenschaften allgemeine sowie fachspezifische emotionale und motivationale Orientierungen, Einstellungen und Verhaltensweisen unterschieden.“ (ebd., S. 101)

Hier wurden Freude und Interesse an Mathematik mit vier Items erhoben. Ähnlich der PISA-Studie wird in der vorliegenden Arbeit der Fokus ebenfalls auf die Freude, das Interesse und die damit verbundene Motivation gelegt. Prenzel, Sälzer, Klieme und Köller (2012, S. 100) zeigen in ihrer Broschüre „PISA 2012, Fortschritte und Herausforderungen in Deutschland“ im Kapitel „Emotionale und motivationale Orientierungen“, dass positive Emotionen zur Steigerung des Wohlbefindens und zur Steigerung des Leistungsverhaltens von Schülerinnen und Schülern beitragen und

personal competencies, attribution style for success and failure outcomes within a specific knowledge domain, feelings of self-efficacy for achievement related activities; competence-related test anxiety; goal orientation; personal expectancies about the relation between available competencies and task demands.“ (Weinert, 1999, S. 25)

dass Freude und positive Selbstwahrnehmung und der Aufbau von Wissen und Kompetenzen korrelieren.

Ob und wie Schülerinnen und Schüler jedoch dieses Angebot wahrnehmen, hängt von ihren motivationalen Orientierungen und Einstellungen ab. (ebd., S. 100)

Ob Schülerinnen und Schüler Schultypen mit mathematisch-naturwissenschaftlichen Zweigen präferieren, ist in Folge auch vom emotionalen Empfinden der Jugendlichen abhängig. Leider lässt die Auswertung aber keine wirklich eindeutigen Aussagen über den Zusammenhang von Motivation und bereits erlangten Kompetenzen zu, da nicht jede Testung mit gleichen Items versehen war. Zwar wurden Merkmale, wie sozialer und familiärer Hintergrund in einem gemeinsamen Teil erfasst, aber durch das Rotationsdesign fanden nicht alle Schülerinnen und Schüler gleiche Fragestellungen zu motivationalen Orientierungen, Einstellungen und Verhaltensweisen vor.

Zu beachten ist daher, dass bei der Auswertung der Daten immer nur die Antworten von zwei Drittel der Schülerinnen und Schüler berücksichtigt werden konnten. [...] [d]ennoch [konnte] eine robuste Schätzung der Schülermerkmale vorgenommen werden. (ebd., S. 101)

Nach Götze (2007, S. 2ff.) und Helmke & Schrader (2001, S. 88ff.) sind die Hauptfaktoren der Schulleistung zwar individuelle Fähigkeiten und Merkmale des Lernenden, der Einfluss der Familie und der Peergruppe sind aber ebenso motivationale Determinanten.

Sogar eine medizinische Studie von Roth (2010, S. 4) belegt mit computertomographischen Aufnahmen sehr eindrucksvoll, dass die Motivation bildhaft nachgewiesen werden kann und einen starken Einfluss auf den Lernerfolg von Schülerinnen und Schülern hat.

Auch die im Jahre 2011 durchgeführte Studie „Ferngesteuerte und virtuelle Experimente im universitären Physikunterricht“ von Boehringer, Scheuschner & Jetter (S. 17ff.) konnte eine Korrelation von Motivation und Lernerfolg nachweisen.

Myers (2008, S. 544) beschreibt eine Langzeitstudie von 1528 kalifornischen hochintelligenten Kindern. Nur das eine Prozent der Kinder mit dem allerhöchsten Intelligenzwert wurde in diese Studie aufgenommen. Nach 40 Jahren kontrollierten die

Forscher den beruflichen Erfolg der Probandinnen und Probanden. Ausschlaggebend für den unterschiedlichen Erfolg war die verschieden ausgeprägte Motivation. „Die besonders Erfolgreichen waren ambitionierter, aktiver und ausdauernder.“ (ebd., S. 544) Bereits als Kinder gingen sie viel aktiver Hobbys nach, auch im Erwachsenenalter waren sie noch sportlich aktiver und nahmen häufiger an Gruppenaktivitäten teil (vgl. ebd., S. 544).

Die Studie „Predicting Long-Term Growth in Students' Mathematics Achievement: The Unique Contributions of Motivation and Cognitive Strategies“ von Murayama, Pekrun, Lichtenfeld & Hofe (2012, S. 1ff.) konnte für den Fachgegenstand Mathematik sogar belegen, dass langfristig Motivation wichtiger ist als Intelligenz.

Results showed that the initial level of achievement was strongly related to intelligence, with motivation and cognitive strategics explaining additional variance. In contrast, intelligence had no relation with the growth of achievement over years, whereas motivation and learning strategies were predictors of growth. These findings highlight the importance of motivation and learning strategies in facilitating adolescents' development of mathematical competencies. (Murayama et al., 2012, S. 1)

Auch Ziegler, Grassinger und Harder (2008, S. 34ff.) beschreiben in der Zeitschrift *news&science*, dass Motivation entscheidender ist als hoher IQ.

Tatsächlich wurde in vielen Expertisestudien festgestellt, dass die wichtigsten Bedingungen für Leistungsexzellenz Umfang und Qualität individueller Lernprozesse sind. Im Gegensatz zu Variablen wie Motivation, Selbstvertrauen und günstigem sozialen Lernumfeld hatte ein möglichst hoher IQ keinen Einfluss auf die erbrachten Leistungen (ebd., S. 37).

Von großer Relevanz ist auch die im Jahr 2008 durchgeführte Metastudie von John Hattie.

Kaum eine Studie aus dem Bereich der empirischen Bildungsforschung hat in den letzten Jahren eine solch breite

Aufmerksamkeit erlangt wie die Studie des neuseeländischen Pädagogen John Hattie. (Rees, 2013, S. 6)

Das Besondere an dieser Meta-Studie ist der überdurchschnittliche Umfang. So hat der neuseeländische Pädagoge über 800 Metastudien zusammengefasst. Diese Metastudien bestanden selbst aus 50.000 Studien mit mehr als 80 Millionen Teilnehmerinnen und Teilnehmern. Als Ergebnis postuliert Hattie in seiner Studie 138 Einflussfaktoren für den Lernerfolg.

Dabei berechnet er in seiner Studie die Effektstärke „d“ mit folgender Formel:

$$d = \frac{\text{Mittelwert (nach Faktor)} - \text{Mittelwert (vor Faktor)}}{\text{Standardabweichung}}$$

Der Mittelwert bezieht sich dabei auf den mittleren Lernerfolg der jeweiligen Gruppe. Übersteigt „d“ den Wert von 0,4, so spricht Hattie von einem hohen erwünschten Effekt (vgl. Rees, 2013, S. 6ff.).

Für die Motivation⁴ ergab sich dabei ein d-Wert von 0,48. Durch dieses Ergebnis bestätigt Hattie, dass Motivation einen wesentlichen Einfluss auf den Lernerfolg hat. Für die vorliegende Arbeit von großer Bedeutung ist das Ergebnis, dass die Darbietung reiner Simulationen ohne der Möglichkeit zum Mitmachen nur einen d-Wert von 0,33 erreichte und somit nur einen schwachen Lerneffekt zur Folge hatte (vgl. Waack, 2014, o. S.). Die Verwendung interaktiver Lernvideos bewirkte einen „d-Wert“ von 0,52 und somit auch einen „erwünschten Effekt“ auf den Lernerfolg. Dies lässt auf eine positive Wirkung von virtuellen Versuchsanordnungen im naturwissenschaftlichen Bereich schließen, da sie große Ähnlichkeit mit derartigen Lernvideos haben.

Die Autoren der PISA-Studie 2009 teilen für die unmittelbare Ergebniserreichung im naturwissenschaftlichen Unterricht zwar Systemfaktoren wie „Schule und Unterricht“ sowie „persönliche, familiäre und soziale“ Faktoren eine ausschlaggebende Rolle zu. Allerdings verweisen sie ausdrücklich auf die Wichtigkeit von eigenständigen physikalischen Versuchen (vgl. Stadler, Lembens & Weiglhofer, 2009, o. S.).

Es ist zu erwarten, dass eigenständige experimentelle Erfahrung oder zumindest Unterricht, der die Durchführung und Interpretation von Experimenten deutlicher betont, zu einem verbesserten Lerneffekt bei

⁴ nicht unterschieden in Lern- oder Leistungsmotivation

ähnlichen Fragestellungen führt. (Stadler, Lembens & Weiglhofer, 2009, o. S.)

Auch durch die bereits 2006 erhobenen Daten der PISA-Studie wird diese Aussage untermauert, da bei dieser Testung die Naturwissenschaften schwerpunktmäßig behandelt wurden. 2009 und 2012 wurde für den Bereich der Naturwissenschaften weniger Testzeit vorgesehen, sodass „keine ähnlich detaillierte Analyse der Kenntnisse und Fähigkeiten wie im PISA-Bericht 2006“ möglich ist, „sondern nur eine aktualisierte Beurteilung der Gesamtleistungen.“ (OECD, 2014, S. 232). Im Bericht der OECD (Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung) wird aber ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Ergebnisse der PISA-Studie 2012 im Bereich Naturwissenschaften trotzdem mit denen der PISA-Erhebungen 2009 und 2006 vergleichbar sind (vgl. OECD, 2014, S. 233).

2.1 Blick in die schulische Zukunft

Für die Darstellung künftiger Schulentwicklung wird der von der Europäischen Kommission und dem New Media Consortium (NMC) gemeinsam mit der Generaldirektion Bildung und Kultur (GD EAC) der Europäischen Kommission, der gemeinsamen Forschungsstelle / dem Institut für technologische Zukunftsforschung (IPTS), der Inholland University, QIN AS⁵ und Cellcove Limited⁶ in Auftrag gegebene „Horizon Report Europe“ herangezogen (vgl. Johnson et al., 2014, S. 3). Dieser Bericht gibt Einblicke in schulische Veränderungen der Primar- und Sekundarschulen in 28 europäischen Mitgliedsstaaten, die in den kommenden fünf Jahren bevorstehen, beziehungsweise nimmt er Stellung zu kommenden Trends und Veränderungen im Schulsystem. Die Forschungen, die als Grundlage für diesen Bericht dienen, wurden in großem Umfang durchgeführt. So waren zum Beispiel 53 europäische Sachverständige⁷ an den Forschungen beteiligt, die wiederum auf über 150 europäische Publikationen zurückgriffen (vgl. ebd., S. 1ff.).

⁵ Forschergruppe (Research Team) aus Norwegen

⁶ Managementinstitut aus dem Vereinigten Königreich

⁷ „Im Sachverständigengremium für das Horizon Project Europe im Jahr 2014 waren 22 europäische Länder vertreten sowie einige namhafte internationale Organisationen, darunter die Europäische Kommission, die OECD und die UNESCO, und europäische Netzwerke wie das European Schoolnet3.“ (Johnson et al., 2014, S. 6)

Stand der Forschung

Der Horizon Report Europe 2014 Schools Edition befasst sich mit Trends, Herausforderungen und Technologien und untersucht, inwieweit diese beim Unterrichten, Lernen und kreativen Forschen und Erkunden ("Creative Inquiry") zum Tragen kommen und genutzt werden können. (ebd., S. 0, Titelblatt)

Das NMC betreibt diese Forschungen bereits seit über zwölf Jahren und gibt dabei immer eine Prognose für den Schulbereich über die kommenden fünf Jahre ab.

In den nächsten zwei bis drei Jahren wird sich der Einsatz der frei zugänglichen Lehr- und Lernmaterialien („Open Educational Resources“ – OER) verstärken „und [...] die kombinierte Anwendung traditioneller und virtueller Lernmethoden in Europa deutlich bemerkbar machen.“ (ebd., S. 1) Weltweit wird die Fülle von internetbasierten Inhalten neue Lehr- und Lernmodelle prägen. Die dazu nötige Anhebung des derzeit niedrigen Verständnisniveaus der Schülerinnen und Schüler sollte dabei eine lösbare Herausforderung darstellen.

Regarding the challenges in European schools, students' low digital competence is considered one of the solvable challenges. (ebd., S. 1)

In den nächsten Jahren werden Cloud-Computing, Tablets, Dienste wie Google Apps for Education, Skype und Online-Speichermedien vermehrt in den Schulen Einzug halten. Remoteumgebungen und virtuelle Labore dürften ab 2018 vermehrt in den Schulen zum Einsatz kommen.

Das Gremium des Horizon Project Europe stellte wiederholt fest, dass der Zugang von Schülern zu hochwertiger Laborausrüstung verbessert werden muss, damit die Schüler ortsunabhängig Versuche durchführen und mit echten Daten arbeiten können, wie sie von großen Forschungs- und wissenschaftlichen Einrichtungen verwendet werden. (ebd., S. 6)

Zusätzlich vergleichen die Autoren (Johnson et al.) ihre Studie (Horizon Report Europe) mit dem

- „NMC Horizon Report: 2014 K-12 Edition“, der auf die weltweite Primar- und Sekundarschulbildung Bezug nimmt und dem

Stand der Forschung

- „NMC Horizon Report: 2014 Higher Education Edition“, der die weltweite Entwicklung von Technologien in Hochschuleinrichtungen untersucht.

Die Auseinandersetzung mit diesen Studien zeigt, dass diese Vorhersagen nicht nur an europäischen Schulen Belang haben, sondern sich rund um den Globus spannen.

These comparisons illuminate key themes not only in European schools, but those whose impact is being felt globally. (ebd., S. 3)

Übersicht über den Technologievergleich bei den drei Horizon-Forschungsprojekten des NMC:

NMC Horizon Report 2014 Global K-12 Edition	Horizon Report Europe 2014 Schools Edition	NMC Horizon Report 2014 Higher Education Edition
Geschätzte Einführungszeit: ein Jahr oder weniger		
Bring Your Own Device (BYOD) Cloud-Computing	Cloud-Computing Tablets	Umgedrehter Unterricht („Flipped Classroom“) Lernanalysen
Geschätzte Einführungszeit: zwei bis drei Jahre		
Spiele und „Gamification“ Lernanalysen	Spiele und „Gamification“ Mobiles Lernen	3D-Drucken Spiele und „Gamification“
Geschätzte Einführungszeit: vier bis fünf Jahre		
Internet der Dinge „Wearable Technology“	Personalisiertes Lernen Remote- und virtuelle Labore	„Quantified Self“ virtuelle Assistenten

Tabelle 1: Horizon Report 2014 (Johnson et al., 2014, S. 6)

Die Expertinnen und Experten des Berichts „Horizon Project K-12“ folgen der These, dass sich aufgrund innovativer Entwicklungen der Lehrberuf und die Anforderungen an Lehrkräfte maßgeblich verändern werden. Auf Grund der technischen Innovation müssen auch neue pädagogische Konzepte entwickelt und umgesetzt werden.

Der Horizon Report Europe prognostiziert in folgender Abbildung neben den zukünftigen schulischen Trends auch Herausforderungen für die Lehrkräfte der kommenden Jahre und zeigt Technologien für die Gewährleistung und Umsetzung zukünftigen kreativen Unterrichts auf (vgl. ebd., S. 2):

Stand der Forschung

Elements of the Creative Classroom Framework

Mapping the Horizon Report Europe topics to the CCR Framework

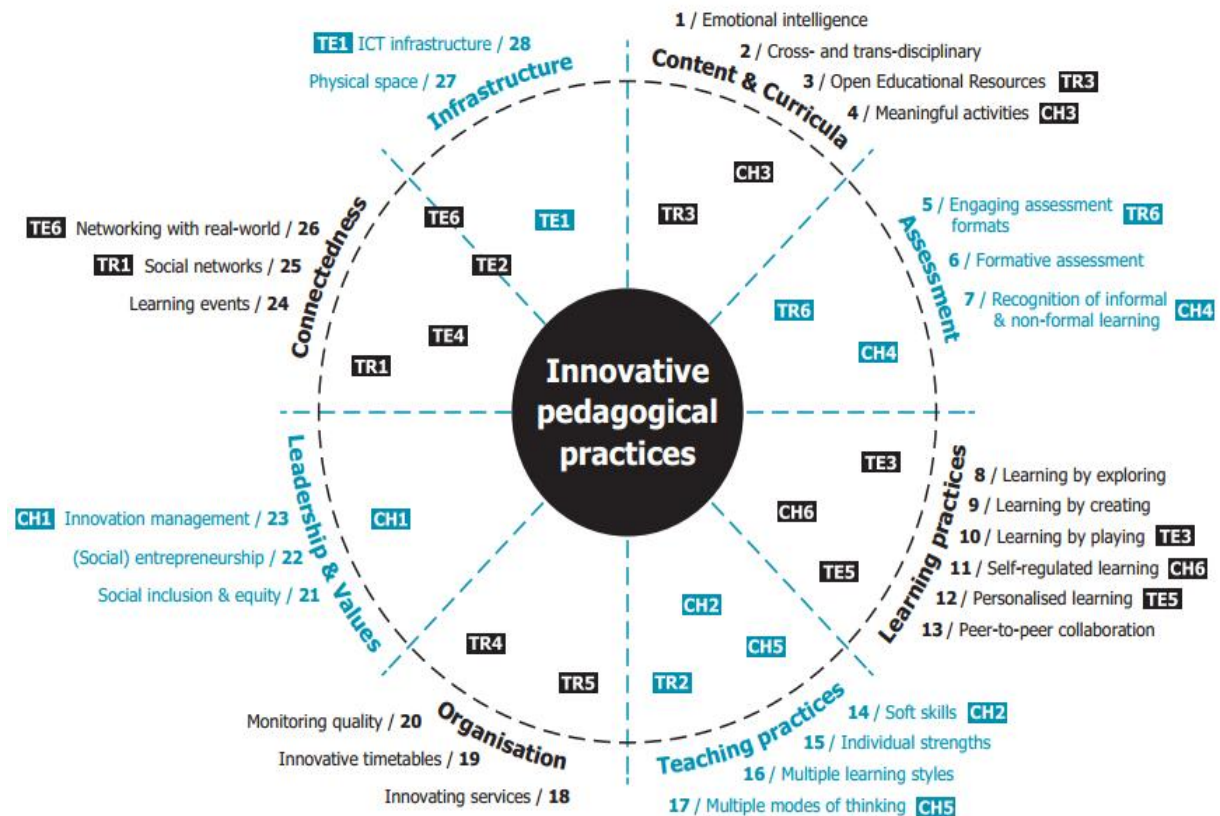


Abbildung 1: Innovative pedagogical practices (vgl. Johnson et al., 2014, S. 2)

Legende:

TRENDS	HERAUSFORDERUNGEN	TECHNOLOGIEN
TR1: Zunehmende Allgegenwärtigkeit, sozialer Medien	CH1: Integration von IKT in die Lehrkräfteausbildung	TE1: Cloud-Computing
TR2: Neuausrichtung der Rolle von Lehrkräften	CH2: Niedriges Niveau der Schüler an digitalen Kompetenzen	TE2: Tablets
TR3: Zunehmende Verlagerung auf frei zugängliche Lehr- und Lernmaterialien	CH3: Authentisches Lernen	TE3: Spiele und „Gamification“
TR4: Vermehrte Anwendung hybrider Lernmodelle	CH4: Verschmelzung formalen und nichtformalen Lernens	TE4: Mobiles Lernen
TR5: Weiterentwicklung des Online-Lernens	CH5: Komplexes Denken und Kommunikation	TE5: Personalisiertes Lernen
TR6: Zunahme des datengestützten Lernens und entsprechender Bewertungsmethoden	CH6: Schüler als Mitgestalter der Lernaktivitäten	TE6: Remoteumgebungen und virtuelle Labore

Tabelle 2: Elemente kreativen Unterrichts

3 Theoretische Grundlagen

In diesem Kapitel wird aufbauend auf den wissenschaftlichen Kriterien und der Bedeutung des traditionellen physikalischen Experiments der Bogen zum virtuellen Schülerinnen- und Schülerversuch gespannt. Dazu ist es zunächst notwendig, forschungsrelevante Definitionen anzuführen.

Leider sind gerade im Themenbereich E-Learning Definitionen auf Grund der großen Begriffsvielfalt nicht immer eindeutig und bedürfen zusätzlicher Begriffsabgrenzungen. Das liegt daran, dass sich hier für viele Begrifflichkeiten noch kein einheitlicher Sprachgebrauch etabliert hat. Selbst die Bedeutung des Adjektivs virtuell hat sich im Laufe der Zeit stark geändert. Wurde vor zehn Jahren virtuell und telematisch⁸ noch ähnlich verwendet, so versteht man heute unter virtuellen Bildungsangeboten nahezu reale Darstellungen (vgl. Arnold, Kilian, Thillosen & Zimmer, 2013, S. 15).

Kopp und Polascheck (2015, S. 78) schließen sich der soeben genannten Definition an, denn sie verstehen unter dem Terminus „E-Learning“ „mediendidaktisch motivierte, durch adäquate Informations- und Kommunikationstechnologien unterstützte Lehr-/Lernprozesse zur Förderung eines zeitlich und örtlich flexiblen, möglichst auf Interaktion und Kollaboration ausgerichteten Wissens- und Kompetenzerwerbes.“ Hier ist mit E-Learning der Überbegriff für „Blended Learning, Online-Selbstlerneinheiten und offene Kurse“ (ebd., S. 78) gemeint, allerdings fließt wie bei Schuster und Gagrìca (2014, S. 28) die didaktische Komponente mit ein. Nach Schuster und Gagrìca (ebd., S. 28) bedeutet E-Learning die Verbindung von Pädagogik und Technik.

Auch Gerlach und Squarr (2015, S. 99) schließen sich der bisher erwähnten Definitionen an, in dem sie postulieren, dass „E-Learning [...] als Oberbegriff für Tele-Learning, Virtual Classroom oder Learning on Demand“ zu verstehen ist. E-Learning steht für die Integration neuer Technologien im Ausbildungs- und Bildungsbereich.

Dementsprechend versucht der Autor der vorliegenden Arbeit, Begrifflichkeiten fachlich so präzise wie möglich zu beschreiben und abzugrenzen.

⁸ Technik, die Telekommunikation benutzt

3.1 Physikalisches Experiment

Demtröder (2013, S. 1) sieht eine wesentliche Bedeutung des physikalischen Experiments darin, dass die versuchsrelevanten Bedingungen vom Experimentator weitgehend bestimmbar sind. Somit ist es auch möglich, störende Einflüsse durch bewusste Ausklammerung oder Elimination zu minimieren. Heidelberger (1997, S. 1) spricht in diesem Zusammenhang unter anderem von der Idealisierung von verwickelten Erscheinungen durch die Abstraktion einzelner wirkender Faktoren. Während nach Heidelberger (ebd., S. 1) in der Antike und im Mittelalter noch die passive Beobachtung präferiert wurde, findet in der modernen Naturwissenschaft die wesentliche Erkenntnisgewinnung durch das Experiment statt. Heidelberger (1997, S. 1) schließt sich der Aussage von Tetens (1987, S. 1) vollinhaltlich an. Im Gegensatz zur mittelalterlichen Naturbeobachtung werden „die zu erforschenden Phänomene [...] im Experiment technisch erzeugt oder doch zumindest simuliert.“ (Tetens, 1987, S. 1) Untersuchte Fragestellungen, die die Natur betreffen, können bei passender Durchführung beantwortet werden. Erkannte Gesetzmäßigkeiten sollen einen größeren Zusammenhang verdeutlichen und auch Voraussagen ermöglichen (vgl. Demtröder, 2013, S. 1).

Experimente sind gezielt eingeleitete planmäßige Beobachtungen. Die überwiegende Anzahl physikalischer Beobachtungen geschieht durch Experimente. (Scobel, Lindström & Langkau, 2002, S. 3)

Bereits im Jahr 1973 formulierte Heisenberg (S. 231) die bedeutende Rolle des modernen Experiments in folgenden Worten:

Während in der antiken Philosophie die empirische Kenntnis der Naturerscheinungen für ausreichend galt, um Schlüsse auf die zugrunde liegenden Prinzipien zu ziehen, ist es ein charakteristischer Zug der modernen Wissenschaft, Experimente anzustellen, d.h. spezifische Fragen an die Natur zu richten, deren Beantwortung dann Auskunft über die Gesetzmäßigkeiten geben soll. (Heisenberg, 1973, S. 231)

Am Bildungsserver Rheinland-Pfalz kann man im Jahr 2015 unter der Rubrik „Lehrplan gesamt Biologie, Chemie, Physik Klassenstufen 7-10“ folgendes Zitat finden:

Theoretische Grundlagen

Beim Experimentieren wird im Gegensatz zum Beobachten in natürliche Vorgänge mit dem Ziel eingegriffen, einzelne Faktoren aus komplexen Systemen zu isolieren und dadurch besser durchschaubar zu machen. (ebd., S. 25)

Diese Definition deckt sich auch mit jener von Hucke (2000, S. 7), der das Experiment als aktiven Eingriff in die Umwelt des Lernenden beschreibt. Im Vordergrund steht dabei, dass bekannte Gesetzmäßigkeiten überprüft oder neue Gesetzmäßigkeiten entdeckt und verstanden werden.

Welzel et al. (1998, S. 33) formulieren in der 1998 angelegten europäischen Studie folgende fachdidaktische Ziele für den Einsatz von Experimenten in der Schule:

- Der/die Lernende soll Theorie und Praxis miteinander verbinden
- Der/die Lernende soll experimentelle Fähigkeiten erwerben
- Der/die Lernende soll Methoden wissenschaftlichen Denkens kennenlernen
- Der/die Lernende soll motiviert werden, seine/ihre Persönlichkeit und seine/ihre soziale Kompetenz weiterzuentwickeln
- Der/die Lehrende soll die Möglichkeit haben, das Wissen der Lernenden zu überprüfen

Für Reinhold (1996, S. 15) erfüllt das Experiment folgende didaktische Ziele:

- Förderung der objektiven Beobachtungsgabe
- Interpretation und Verarbeitung von Messergebnissen
- Entwicklung von Lösungsstrategien und -vorstellungen und der daraus entstehenden positiven Auswirkungen auf die Lernleistung
- Verstehen, dass das Experiment einen Teil der Natur abbildet
- Fachliche Kompetenzbildung: Finden von Ableitungen und Entwicklung von Theorien

Tesch (2005, S. 70) stellt folgende Ziele des Experimentierens im Unterricht grafisch dar:

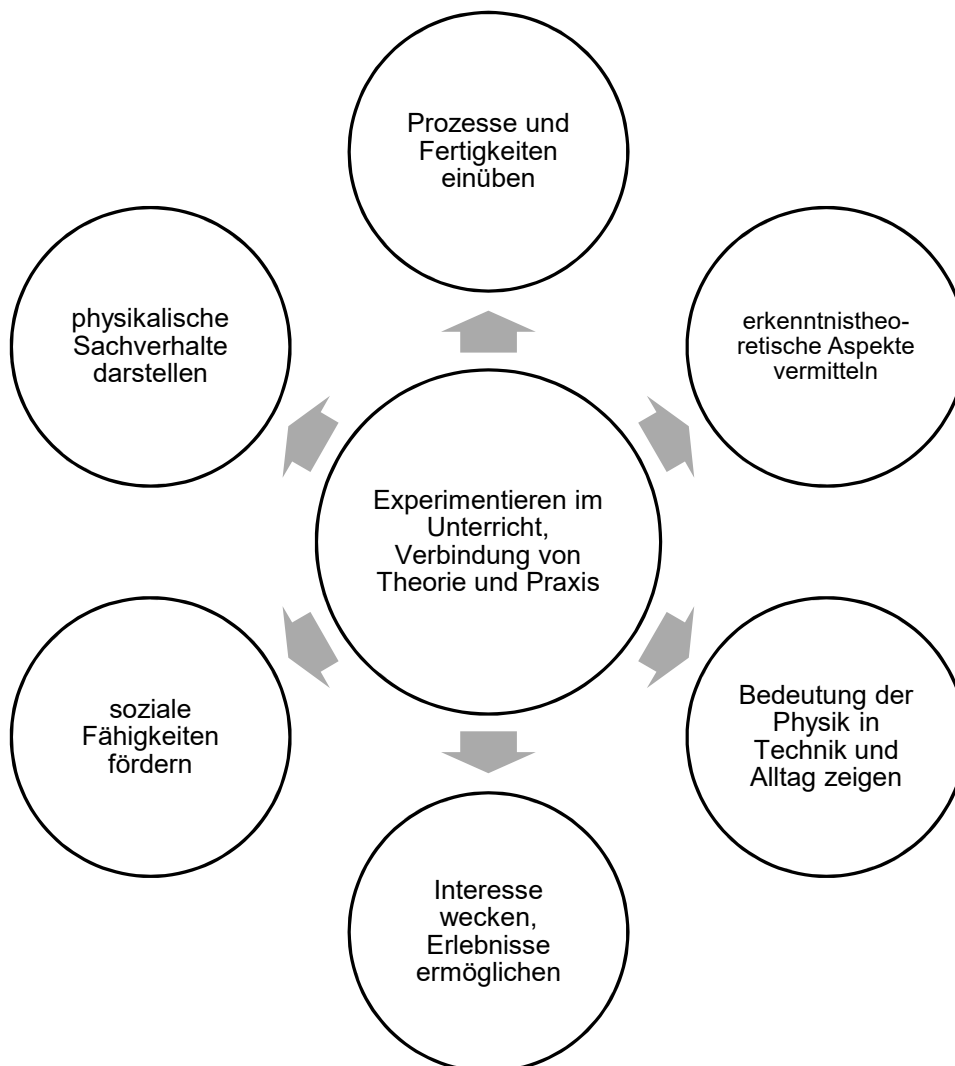


Abbildung 2: Ziele des Experimentierens

Nach Bleichroth (1991, o. S. zitiert nach Berger 2006, S. 149) ist „[d]er Versuch [...] somit als das wichtigste, den Physikunterricht geradezu kennzeichnende Unterrichtsmedium anzusehen“. Der Stellenwert des Experiments darf sich nach Berger (ebd., S. 149) auch mit der Computertechnik nicht ändern – im Gegenteil – durch die Verwendung des Computers soll die Vielfalt an Versuchen nach didaktisch-methodischen Möglichkeiten erweitert werden.

Außerdem postuliert der soeben genannte Verfasser, dass das Experiment „ein objektives und wiederholbares Verfahren zur Erkenntnisgewinnung [darstellt].“ (ebd., S. 146)

Das Experiment dient neben dem Beobachten und Erkennen von Gesetzmäßigkeiten auch dem „Modellieren theoretischer Vorstellungen“. Experiment und Theorie sind wechselseitig ineinander verzahnt und untrennbar verbunden. Vor dem Verstehen von physikalischen Zusammenhängen ist eine Hypothese unerlässlich (vgl. Duit, Tesch & Mikelskis-Seifert, 2010, S. 1).

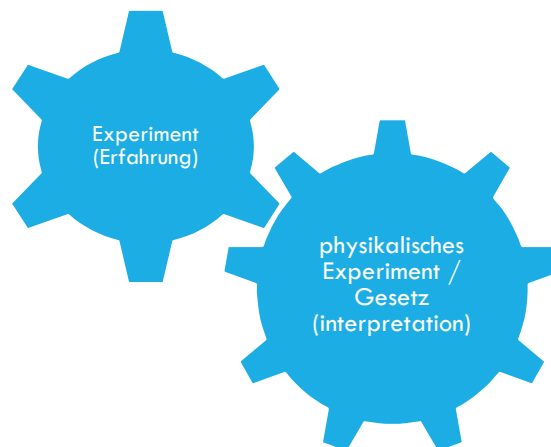


Abbildung 3: Verzahnung von Experiment und Theorie

Exkurs: Modellbegriff

Nach Heizmann (2010, S. 88) wird der Modellbegriff sowohl umgangssprachlich als auch wissenschaftlich in unterschiedlichsten Formen und Ausprägungen verwendet. Der Begriff „modus“ hat seine etymologischen Wurzeln im Lateinischen und lässt sich für den wissenschaftlichen Kontext mit Maß, Grundmaß, Art und Weise übersetzen. Umgangssprachlich sind Modelle oftmals nur verkleinerte Kopien des Originals.

Mit dem Modell wird ein vergleichender Bezug zu etwas Gegenständlichem hergestellt. In der Naturwissenschaft zeigen Modelle Interpretationen von empirischen Phänomenen. (Heizmann, 2010, S. 88)

Wie Heizmann weiter beschreibt, beruhen naturwissenschaftliche Vorgänge oftmals auf komplexen Grundlagen, die nicht immer „direkt zugänglich“ sind.

Für diese Arbeit ist relevant, dass auf Grund der Komplexität immer wieder auch auf physikalische Denkmodelle zurückgegriffen werden muss. Denkmodelle sind

wiederum nur ein partielles Abbild, die zur besseren Veranschaulichung wieder in Realmodelle überführt werden können.

Anschauungsmodelle repräsentieren zwar das Original, aber sie unterscheiden sich von ihm in wesentlichen Eigenschaften, z. B. im Material, in der Dimension, der Abstraktion, dem Zeittakt (Zeitraffung bzw. Zeitlupe), der Zweckgebundenheit und der Annahme theoretischer Parameter. Bei der naturwissenschaftlichen Modellbildung werden also nur bestimmte, 'wesentliche' Eigenschaften abgebildet. (Heizmann, 2010, S. 88)

Nach Meinung des Autors der vorliegenden Arbeit lassen sich diese an ein Anschauungsmodell gestellten Forderungen (auch) bei virtuellen Versuchen sehr gut umsetzen.

Hier ein Beispiel zum Thema „Aggregatzustände“:

Die Lernenden der Sekundarstufe I haben hier an einem virtuellen Modell die Möglichkeit, die Temperatur zu regeln. Interessanterweise zeigt sich dabei die Tatsache, dass dies nicht einfach durch Einstellung passiert, sondern durch Unterstellen einer Flamme. Diese Flamme lässt die Temperatur nicht augenblicklich steigen, sondern nach und nach. Dadurch wird der Schülerin und dem Schüler gezeigt, dass der Übertritt der Energie in der realen Welt einer gewissen Zeit bedarf.

Wie in Kapitel 3.1.3 dieser Arbeit näher beschrieben, steigert der Bezug zum Alltag die intrinsische Motivation (vgl. Barzel, Reinhoffer & Schrenk, 2012, S. 109f.). Im Gegensatz zum Realexperiment ist dieser Versuch – ähnlich wie das von Heizmann beschriebene Anschauungsmodell – in Material, Dimension, Abstraktion, Zeittakt abgeändert. Die erkenntnisrelevanten, wesentlichen Eigenschaften werden jedoch herausgehoben.

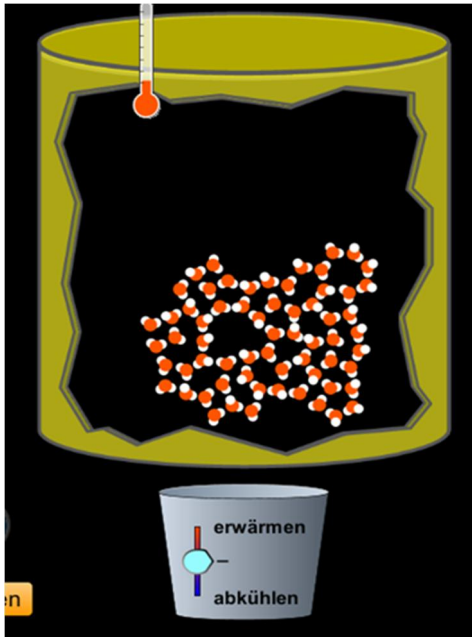


Abbildung 4: Gefäß mit gefrorenem Wasser

(<https://phet.colorado.edu/de/simulation/states-of-matter>)

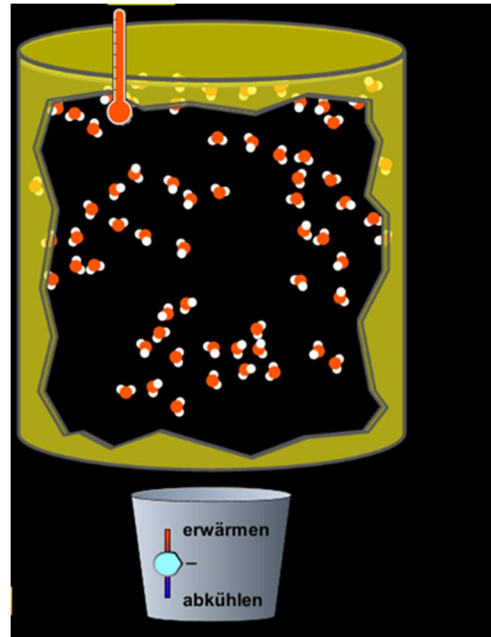


Abbildung 5: Gefäß mit heißem Wasser

(<https://phet.colorado.edu/de/simulation/states-of-matter>)

Nach Raschke (2006, S. 5) sind in der Sekundarstufe I folgende Aspekte für den erfolgreichen Prozess zur Umsetzung „Realwelt – Modell – Modelleigenschaften – Realwelt“ relevant:

- Bewusstes Beobachten physikalischer Vorgänge
- Verstehen und altersgemäßes Anwenden von typischen Denk- und Arbeitsweisen der Physik
- Erkennen von Gültigkeitsgrenzen physikalischer Gesetzmäßigkeiten in alltagsbezogenen Situationen
- Eigenständige und handlungsorientierte Auseinandersetzung mit Problemen aus dem Erfahrungsbereich der Schülerinnen und Schüler, nach Möglichkeit ausgehend von Schülerexperimenten
- Entwicklung von Erklärungsversuchen beziehungsweise Modellvorstellungen und deren Anwendung bei physikalischen Vorgängen in Natur und Technik

All diese Punkte lassen sich im oben genannten virtuellen Experiment umsetzen.

In einem eigenen „Reiter“ lassen sich mehrere Zusatzfunktionen einstellen:

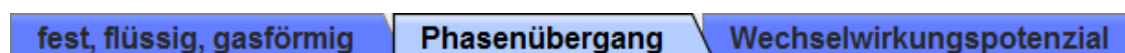


Abbildung 6: Reiter Zusatzfunktionen

Wählt man den Reiter Phasenübergang, lässt sich die Menge der Moleküle mittels „Pumpe“ einbringen, zusätzlich lässt sich der Druck mit dem „Finger“ intuitiv regeln. Neben dem Beobachten lassen sich nun auch altersgemäße Anwendungen von typischen Denk- und Arbeitsweisen umsetzen.

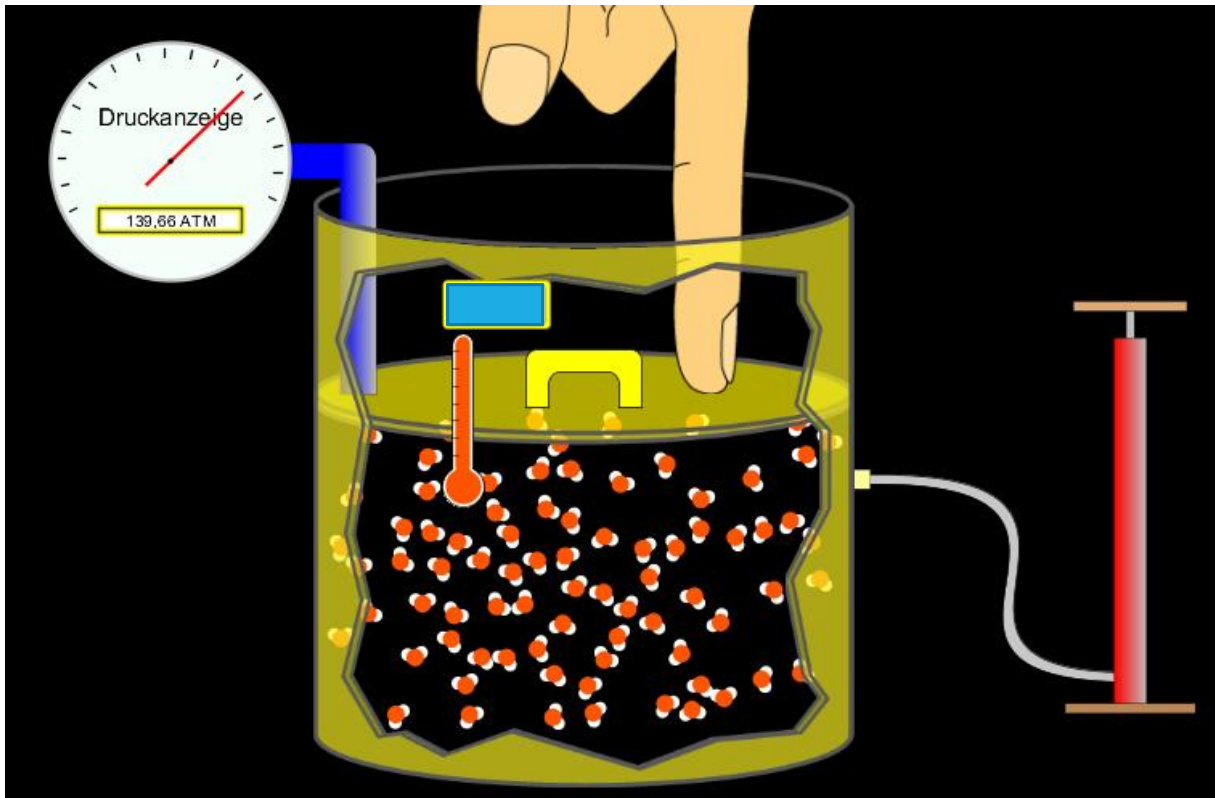


Abbildung 7: Gefäß mit Wasser und regelbaren Druckverhältnissen (<https://phet.colorado.edu/de/simulation/states-of-matter>)

Wird der Druck in diesem Versuch zu stark gesteigert, wird der Deckel explosionsartig weggeschleudert. Wie in der oben angeführten Definition von Raschke (2006, S. 5) gefordert, gibt der Versuch nicht nur die physikalischen Gesetzmäßigkeiten wieder, auch Grenzen des physikalisch Machbaren werden – gefahrlos – erfahren. Auch die „Entwicklung von Erklärungsversuchen“ ist – nach Meinung des Autors – bei diesem Modell für die Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I leicht möglich, denn man sieht im virtuellen Versuch die rasante Molekularbewegung.

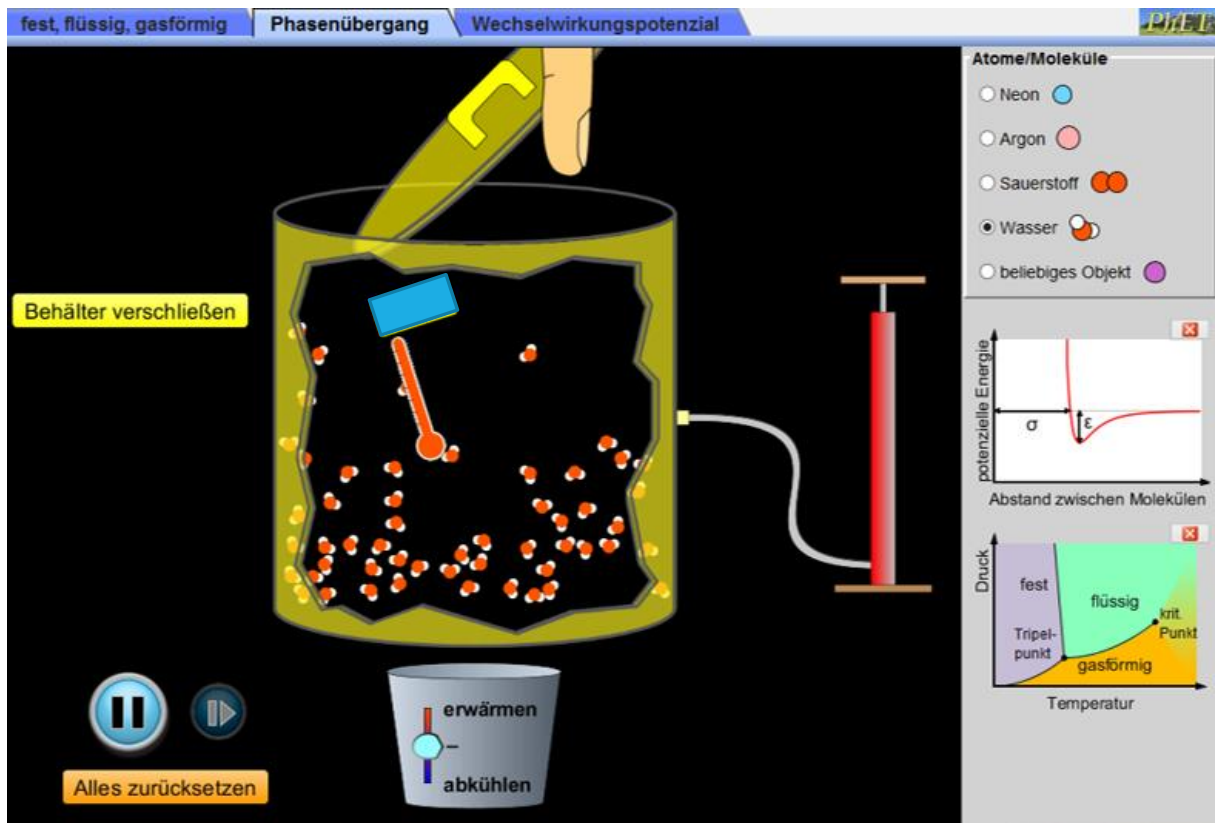


Abbildung 8: Gefäß mit Wasser, explosionsartiger Abflug des Deckels (<https://phet.colorado.edu/de/simulation/states-of-matter>)

Besonders relevant für die gegenständliche Forschung ist, dass Frühwald (2011, S. 41) nicht nur der Verzahnung von Theorie und Versuch sehr große Bedeutung zumisst, sondern in Bezug auf Visualisierung und Simulation sogar von einer neuen wissenschaftlichen Methode spricht:

Die Verschränkung von Theorie und Experiment, von Formelsprache und Anschaulichkeit versetzt die Physik in die Lage, sehr unterschiedliche Begabungsprofile zu fördern und auf ein breites Spektrum von Talenten anziehend zu wirken. Auch deshalb hat sich in der Physik, nach Theorie, Experiment und Messung, zuerst die Visualisierung und die Simulation komplexer Zustände im Computer als eine neue wissenschaftliche Methode etabliert. (Frühwald, 2011, S. 41)

Während Hucke im Jahr 2000 (S. 1) noch davon spricht, dass die neuen Technologien im naturwissenschaftlichen Praktikum „langsamer umgesetzt werden als es die schnelle Entwicklung der technischen Möglichkeiten erwarten lässt“, beschreibt Jäger

im Jahr 2015 (S. 407f.) den Umbruch in den Naturwissenschaften. Die digitale Computertechnologie hat sich rasant in der modernen Physik etabliert und ergänzt bewährte methodische Grundlagen.

Naturphänomene immer größerer Komplexität, die sich den klassischen Laborwissenschaften entziehen, werden mit zunehmender Genauigkeit auf Computern mathematisch modelliert und in ihrem Verhalten berechnet. Neben dem Experiment und der Theorie ist die Simulation zu einer dritten Säule der wissenschaftlichen Forschung geworden. (Jäger, 2015, S. 407f.)

Diese Behauptung wird von Bimberg, Rodt und Pohl (2011, S. 112) untermauert. So verwenden sie zum Beispiel Computersimulationen dazu, Kohlenstoffatome regelmäßig anzuordnen, um dann deren Einsatzzweck voraussagen zu können. Als weiteres Beispiel zeigen sie die Möglichkeit auf, mittels Computer lasergesteuerte parallele optische Datenübertragung zu simulieren und grafisch darzustellen (vgl. ebd., S. 137).

Auch Hasinger (2011, S. 275) verweist in seinem Aufsatz zur „Strukturentstehung im Kosmos“ auf die Bedeutung von virtuellen Versuchen⁹.

So kann zwar das frühe Universum und dessen Entstehung nicht unmittelbar beobachtet werden, aber mit „modernen Supercomputern nachgebildet werden.“

Die Simulation der kosmischen Strukturentstehung ist deshalb ein wichtiges Werkzeug, um die Beobachtung der Strahlung aus dem fast homogenen, heißen Feuerball mit den komplexen Gebilden im heutigen Universum in Einklang zu bringen. (ebd., S. 275)

Bei Verwendung von erdnahen Parametern zeigt die Simulation, dass sich „aus der zunächst fast gleichmäßig verteilten Materie innerhalb relativ kurzer Zeit die ersten Kondensationskeime größerer Strukturen [...] [bilden]“. Danach sind „Galaxien wie an Perlenschnüren aufgereiht [...] sowie große Leerräume fast ohne Galaxien [zu erkennen]“. (Haslinger, 2011, S. 275)

Die Supercomputer der Max-Planck-Gesellschaft waren für diese Berechnungen zwar über einen Monat lang ausgelastet, aber

⁹ „Simulationen im weiteren Sinne sind in gewisser Weise also nichts anderes als `virtuelle Experimente' auf dem Computer.“ (Bungartz, Zimmer, Buchholz & Pflüger, 2013, S. 1)

[d]as simulierte Universum ähnelt inzwischen in frappierender Weise der wirklich am Himmel gemessenen dreidimensionalen Verteilung der Galaxien, so dass die Entwicklung der kosmischen Struktur eine weitere wichtige Säule im Verständnis der Kosmologie darstellt. (Hasinger, 2011, S. 276)

Im virtuellen Versuch lassen sich sogar die Endzustände der Materie im Kosmos darstellen.

Die Simulation (virtueller Versuch) – wie oben von Frühwald (2011, S. 41) beschrieben – kann somit als neue wissenschaftliche Methode angesehen werden. Sie ist eine Weiterentwicklung des klassischen Versuchs (vgl. Scherp & Schlattmann, 2002, S. 4). Wilhelm (2013, o. S., online) erklärt zum interdisziplinären Projekt „Experiment und Simulation“, dass die Schülerinnen und Schüler durch die modernen Methoden der Informationstechnik die Möglichkeit haben „Phänomene am Computer zu simulieren und dadurch ein tieferes Verständnis des Experiments zu entwickeln.“ Um den Lernenden den praxisnahen Forschungsbetrieb näher zu bringen, ist es nach Wilhelm, der als Professor für Didaktik an der Goethe-Universität in Frankfurt am Main tätig ist, sinnvoll, durch Simulationen ein realistisches naturwissenschaftliches Bild im Physikunterricht widerzuspiegeln (vgl. ebd., o. S., online).

Grafendorfer und Kernbichler (2007, o. S., online) vom Bundesinstitut für Bildungsforschung, Innovation und Entwicklung des österreichischen Schulwesens (BIFIE) kritisieren, dass naturwissenschaftliche Kompetenzen („etwa gezieltes Beobachten, Messen, Systematisieren und Protokollieren“) bereits in der österreichischen Grundschule vernachlässigt werden und infolge Probleme beim Experimentieren und bei der Erkenntnisgewinnung entstehen können (vgl. auch Duit, Tesch & Mikelskis-Seifert, 2010, S. 1).

Paradoxerweise werden des Öfteren eindrucksvolle, aber fachdidaktisch nicht zum Unterrichtsstoff passende Experimente als Motivationskick eingesetzt, sodass eine falsche Vorstellung von der Bedeutung des Experiments entsteht (vgl. Suchan, Wallner-Paschon & Schreiner, 2007, S. 185ff.). Aus diesem Grund müssen nach Krofta, Fandrich und Nordmeier (2011, S. 4) in den Lernumgebungen fachwissenschaftliche Inhalte mit fachdidaktischen Gesichtspunkten verknüpft werden. Die genannten Autoren sind sich einig (ebd., S. 4f.), dass das Experimentieren nur mit pädagogischer Unterstützung sinnvoll in den Unterricht

einfließen kann. Neben dem Managen der Gruppensituation sind pädagogische Fachkräfte auch zur Förderung der Motivation einzusetzen. Trotzdem soll besonderer Wert auf die Eigenaktivität der Schülerinnen und Schüler gelegt werden.

„Staunen löst keinen zwingenden Frageprozess aus, schlechterdings führt es zu Passivität.“ (Suchan et al., 2007, S. 185ff.) Der falsche Einsatz des Experiments kann zur „Motivationsfalle“ werden. Naturwissenschaftliche Experimente dürfen auch nicht missbräuchlich als Belohnungsersatz verwendet werden (vgl. ebd., S. 3).

Die PISA-Studie aus dem Jahr 2012 untersuchte die Gründe für außerordentlich gute Leistungen im naturwissenschaftlichen Bereich. Spitzenschülerinnen und Spitzenschüler müssen demnach die Kompetenz haben, naturwissenschaftliche Fragestellungen zu erkennen und auch in der Lage sein, diese zu lösen. Extra angeführt sind das Bilden von Hypothesen, das Durchführen von naturwissenschaftlichen Experimenten und deren Auswertung. Durch diese Vorgangsweise schaffen es die Schülerinnen und Schüler dann auch, „naturwissenschaftliche Problemstellungen [zu] lösen, die in ungewohnte Situationen eingebettet sind, und ihr Wissen zu verwenden, um Entscheidungen zu argumentieren.“ (Schmich & Bitesnich, 2013, S. 39)

Leider zeigt die Untersuchung der PISA-Studie auch, dass es Schülerinnen und Schüler gibt, die in diesem Bereich nur wenige Kompetenzen haben und daher sehr schlecht abschneiden. Ein Hauptproblem ist neben dem eingeschränkten naturwissenschaftlichen Wissen auch, dass das vorhandene Wissen nur mehr in sehr gut vertrauten Situationen anwendbar ist (vgl. ebd., S. 39).

3.1.1 Schülerinnen- und Schülerexperiment

Um die soeben angesprochenen Kompetenzen gezielt zu verbessern, wird z. B. im Lehrplan Rheinland-Pfalz¹⁰ (2015, S. 24) der Weg des „bewusste[n] Erfassens“ beschrieben, welcher „geschult werden muss“. Unter bewusstem Erfassen wird das genaue Beschreiben, das richtige Benennen, das exakte Zeichnen unter Zuhilfenahme

¹⁰ Der Lehrplan Rheinland-Pfalz wurde in enger Zusammenarbeit mit Fachdidaktikern und Fachwissenschaftlern des Pädagogischen Zentrums Rheinland-Pfalz erstellt. Die Basis für die Fachdidaktische Kommission bildeten bestehende Lehrpläne, die Ausrichtung erfolgte gezielt auf den Entwicklungsstand der Kinder (vgl. Lehrplan-Rheinland-Pfalz, 2015, S. 4).

von Utensilien wie Fernglas, Lupe, Binokular und Mikroskop verstanden (vgl. ebd., S. 24).

Als weitere Komponente wird das Durchführen von Versuchen in der Schule als unerlässlich angesehen, da „Experimente [...] in vielfältiger Weise naturwissenschaftliches Denken [fördern], weil sie zahlreiche Überlegungen von der Problemfindung über Lösungshypothesen bis hin zum exakten Protokoll und der Einordnung gewonnener Erkenntnisse in einen größeren Zusammenhang fordern“. (Lehrplan Rheinland-Pfalz, 2015, S. 25) Das Experiment dient nicht nur „der Erkenntnisgewinnung, der Gesetzfindung und dem Kennenlernen von unterschiedlichen Verfahren“ (ebd., S. 133), sondern fördert durch experimentelle Überprüfung aufgestellter Hypothesen, durch Generalisieren und Quantifizieren die Motivation der Schülerinnen und Schüler (vgl. ebd., S. 209).

Daher erstreckt sich die Forderung nach dem selbstständigen Durchführen von Versuchen über den gesamten Lehrplan. Die Lehrkraft wird angehalten, „so oft wie nur irgend möglich Schülerexperimente zu organisieren. [...] Beim selbstständigen Experimentieren entwickeln sich Beobachtungsgabe, Konzentration und Geduld, Selbstvertrauen und die Fähigkeit zu kausalem Denken.“ (Lehrplan Rheinland-Pfalz, S. 93)

Die Weisung, Schülerinnen- und Schülerversuche im Physikunterricht durchzuführen, ist allerdings kein Postulat aus dem 21. Jahrhundert. Bereits vor mehr als hundert Jahren (1905) forderten die Meraner Beschlüsse „planmäßige Schülerübungen“ in der physikalischen Ausbildung (vgl. Kircher et al., 2010, S. 248; vgl. Willer, 2003, S. 280). Der englische Soziologe Herbert Spencer stellte bereits im 19. Jahrhundert fest, dass die Schülerinnen und Schüler durch eigene Untersuchungen und Experimente selbst in der Lage sind, Wissen zu konstruieren.

Die Kinder sollten dahin gebracht werden, dass sie ihre eigenen Untersuchungen anstellen und ihre eigenen Schlüsse ziehen. Es sollte ihnen so wenig wie möglich einfach mitgeteilt werden und man sollte erreichen, dass sie so viel wie möglich selbst entdecken. Der Fortschritt der Menschheit beruht ausschließlich auf selbst angeeignetem Wissen; und ... um die bestmöglichen Ergebnisse zu erzielen, muss jeder Mensch in seiner geistigen Entwicklung diesem Weg zumindest bis zu einem gewissen Grad folgen. (Herbert Spencer,

o. J, o. S. zitiert nach Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2007, S. 209)

Trotz dieser frühen Forderung stellen Fischer et al. (2007, S. 6) in ihrer Bestandsaufnahme immer noch fest, dass „[i]m naturwissenschaftlichen Unterricht der Sekundarstufe I [...] viele Aufgaben formuliert [werden], die in die Kategorie der so genannten Wissensaufgaben einzuordnen sind. Anwendungsaufgaben, die immer auch Kontextaufgaben sind, kommen dabei im Unterrichtsalltag meist zu kurz.“ Wird auf Kontextaufgaben verzichtet oder werden nur bestimmte Aufgabenformate unterrichtet, so werden die Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I „keine Möglichkeit erhalten, die Bewältigung neuer Situationen zu üben.“ (ebd., S. 6) Dabei ist es wichtig, den Jugendlichen im Lernprozess die Möglichkeit zu geben, bei der Beantwortung ihrer naturwissenschaftlichen Fragestellungen auch Wege einzuschlagen, die sich im späteren Verlauf als nicht praktikabel darstellen. Daher muss eine klare Trennung bei der Bewertung von Lernprozess und späterer Leistungsfeststellung stattfinden (vgl. ebd., S. 6).

Wegner, Grügelsiepe und Dück (2012, S. 60) sehen im handlungsorientierten Unterricht eine Menge von kognitiven Ausprägungen, wie zum Beispiel das Abwägen, die Prozesssteuerung oder die Ergebnisbewertung. Im Speziellen allerdings meinen die Autoren „das Herstellen von Lösungen, das Aufbauen von Versuchsaapparaturen [...]“ (ebd., S. 60), um die Schülerinnen und Schüler optimal fördern zu können. Auch hier wird, wie im Lehrplan Rheinland-Pfalz gefordert, das „schnelle Erfassen von Fragestellungen und Phänomenen [...] [und] das kreative Finden von möglichen Antworten und die präzise Entwicklung von Wegen zur Verifizierung bzw. Falsifizierung“ in den Fokus gestellt.

Interessant im Zusammenhang mit der gegenständlichen Forschungsarbeit ist die Tatsache, dass „jenen Experimenten eine besonders positive motivationale Wirkung zugesprochen [wird], bei denen die Lernenden selbst tätig sind (Schülerexperimente).“ (Sommer et al., 2013, S. 1) Schülerinnen- und Schülerexperimente sind also neben dem Erlernen von naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen auch aufgrund ihrer motivationssteigernden Auswirkungen von großer Bedeutung (vgl. 2013, S. 1). Barke und Harsch (2011, S. 197) machten die Beobachtung, dass der Einfluss von Schülerinnen- und Schülerexperimenten „erheblich“ ist: „Mädchen wie Jungen

äußerten ein hohes Interesse an Schülerexperimenten.“ Eine anschließende Befragung von Lehrerinnen und Lehrern ergab eine „[h]ohe Motivation durch die Schülerexperimente und durch das selbstständige Arbeiten.“ (ebd., S. 334) Auch Adams (2012, S. 18) zeigte in seiner Untersuchung, „dass Schülerexperimente einen erheblichen Beitrag zur Interessensförderung im Unterricht leisten. Sie bieten eine Chance, Unterrichtsinhalte schülerorientiert zu vermitteln und fördern das individuelle Interesse am jeweiligen Fach.“ Nach Adams (ebd., S. 18) gilt diese Erkenntnis nicht nur für den naturwissenschaftlichen Unterricht, sondern auch für alle anderen Schulfächer, in denen sich die Möglichkeit bietet Versuche durchzuführen.

Bezogen auf das Fach Physik fördern nach Mangold (2001, S. 8f.) Schülerinnen- und Schülerversuche die Eigenständigkeit und der Unterricht wird als abwechslungsreich empfunden. Es stellte sich heraus, dass die Schülerinnen und Schüler bei selbst durchgeführten Versuchen der Meinung waren, ein besseres Verständnis über das Sachgebiet erlangt zu haben. Die nachfolgende Untersuchung durch einen Wissenstest zeigte jedoch keinen Unterschied zwischen Themenbereichen, die im Schülerversuchsprogramm erarbeitet wurden, und jenen Themenbereichen, die in herkömmlicher Weise erlernt wurden. Mangold (ebd., S. 9) vermutet, dass dies darin begründet ist, dass die Lernenden nach erfolgreichem Lösen eines Experiments diesem Bereich keine weitere Bedeutung mehr zugemessen haben. Sie meint in ihren Interpretationen auch, dass der Schülerinnen- und Schülerversuch nach Durchführung zum Beispiel mit einem Arbeitsblatt gefestigt werden müsste und danach ein höherer Wissensstand erzielt werden könnte.

Walker (2013, S. 75ff.) untersuchte in Form eines Vor-Nachtest-Designs die Lernwirksamkeit von Schülerinnen- und Schülerexperimenten, Demonstrationsexperimenten und von lesendem Bearbeiten eines technischen Experiments. Dabei unterschied er zwischen deklarativem und prozeduralem Wissen. Während unter deklarativem Wissen das „Benennen von Fakten, Sachverhalten und Begriffen eines Realitätsausschnitts [verstanden wird, meint prozedurales Wissen] [...] das Erkennen und Angeben von situationsspezifischen Merkmalen und Zusammenhängen [bzw. das] Durchführen [und] Ausführen einer kognitiven oder motorischen Operation/Handlung bezogen auf einen bestimmten Kontext.“ (ebd., S. 78) Die Stichprobe umfasste 305 Schülerinnen und Schüler der neunten und elften Klasse von Gesamtschulen und Gymnasien (vgl. ebd., S. 78).

Wie nach Walker (2013, S. 75ff.) zu erwarten war, zeigte die „Treatmentgruppe Demonstrationsexperiment ein signifikant niedrigeres Fachinteresse auf als die beiden anderen Gruppen Schülerexperiment und lesendes Bearbeiten eines Experiments“. (ebd., S. 87) Wie Walker (ebd., S. 75) in seiner Studie weiters feststellt, ermöglicht das Schülerexperiment – wenn auch nur mit kleiner bis mittlerer Effektstärke – mehr Zugewinn an deklarativem und prozeduralem Wissen. Ausschlaggebend für diese unterschiedlichen Lernzuwächse sind die differenten Handlungsmöglichkeiten während der Bearbeitung eines Experiments.

Auch für Krabbe, Zander und Fischer (2015, S. 13) steht beim Schülerinnen- und Schülerexperiment das Lernen durch Eigenerfahrung im Vordergrund. Beginnend mit der Planung von Handlungen, über deren Durchführung bis hin zur Konstruktion ihrer Bedeutung sowie der Generalisierung der Erfahrung und der Reflexion von ähnlichen Erfahrungen. Im Mittelpunkt steht das Schülerinnen- und Schülererleben, welches durch einen handlungsorientierten, entdeckenden Unterricht forciert wird.

Richtberg und Girwicz (2014, S. 1) sind ebenfalls der Meinung, dass „[d]as selbstständige Arbeiten mit Experimenten ein wichtiger Bestandteil des Physikunterrichts“ ist. Außerdem sehen die genannten Autoren das digitale Experiment als erweiterte Möglichkeit für Schülerinnen und Schüler, selbstständig Versuche durchzuführen und dies selbst in Bereichen, in denen dies mit klassischen Mitteln bisher ausgeschlossen war (vgl. ebd., S. 7). Als besonderen Benefit digitaler Experimente sehen Richtberg und Girwicz (2014, S. 1; 7) die Möglichkeit des direkten individuellen computergestützten Feedbacks an.

Da Schülerinnen- und Schülerversuche konkrete Gelegenheiten bieten, Erfahrungen beim physikalischen Experimentieren zu sammeln und „dem natürlichen Drang nach Eigentätigkeit“ entgegenkommen, sollten von Lernenden durchgeführte Experimente auch ein Anliegen der Lehrenden sein (vgl. ebd., S. 240).

Die soeben genannten Forderungen sind für die vorliegende Arbeit von größter Relevanz. Schülerinnen- und Schülerexperimente sind in einem modernen, kindgerechten Unterricht unerlässlich.

Allerdings geben Kircher, Girwicz und Häußler (2015, S. 187) zu bedenken, dass manchmal ein „attraktives Demonstrationsexperiment“ einem unattraktiven Schülerexperiment vorzuziehen ist.

Außerdem dürfen viele Experimente nicht als Schülerinnen- und Schülerversuch durchgeführt werden. So sind beispielsweise Spannungen über 24V nur im Lehrerinnen- und Lehrerversuch erlaubt (vgl. Lehrplan Rheinland-Pfalz, 2015, S. 95). Manche Versuche sind auch auf Grund fehlenden Equipments nicht durchführbar. In der Schule durchgeführte Versuche sind von Zuhause aus nicht mehr reproduzierbar (vgl. Thomsen & Jeschke, 2010, S. 207; Eckhardt, 2010, S. 16).

Dieses Defizit lässt sich durch virtuelle Experimente in vielen Bereichen beheben (vgl. Nagl, 2009, S. 111; S. 113).

Hier setzt die gegenständliche Forschungsarbeit an und überprüft, wie sich die Motivation der Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I im Umgang mit virtuellen Versuchen verhält.

3.1.2 Experimente im Unterricht aus lernpsychologischer Sicht

In den vorangegangenen Kapiteln wurde vor allem auf den Sinn von physikalischen Versuchen und auf die Notwendigkeit von Schülerinnen- und Schülerexperimenten eingegangen.

Leider gibt es in der Lernpsychologie keine eindeutigen Forschungsergebnisse, die den Weg der Kompetenzentwicklung nachvollziehen oder gar beschreiben können. Einigkeit besteht jedoch darüber, dass neben dem Unterricht die soziokulturelle Prägung und die individuellen Persönlichkeitsmerkmale einen wesentlichen Einfluss auf den langwierigen Prozess der Kompetenzentwicklung haben (vgl. Ferber, 2014, S. 13).

Merzyn (2015, S. 5f.) beschreibt in seinem Aufsatz „Guter Physikunterricht“ elf physikdidaktische und lernpsychologische Merkmale¹¹ guten Physikunterrichts. Eines der genannten Merkmale ist die „vielfältige Motivierung“. Merzyn (ebd., S. 5) nennt diesen Punkt „zentrales Anliegen des Physikunterrichts.“ Aus lernpsychologischer Betrachtungsweise knüpft guter Unterricht an die Vorerfahrungen der Schülerinnen

¹¹ 1 Lernförderliches Unterrichtsklima, 2 Vielfältige Motivierung, 3 Verständliche, gut strukturierte Darbietung des Stoffes, 4 Lernen eingebettet in alltagsnahe Kontexte, 5 Vielfältige Unterrichtsmethoden, 6 Verständnisfördernde Unterrichtskommunikation, 7 Förderung aktiven, selbstgesteuerten Lernens, 8 Individualisierung und Differenzierung, 9 Intelligentes Üben und Wiederholen, 10 Angemessene Leistungserwartungen und Kontrollen, 11 Klare Klassenführung und Strukturierung des Unterrichts (vgl. Merzyn, 2015, S. 5f.)

und Schüler an und lässt den Physikunterricht als lebendiges, lohnendes Fach erscheinen. Besonders motivierend ist die praktische Nähe zur Lebensumwelt der Lernenden. Merzyn spricht hier vom 4. Merkmal guten Lernens: „Lernen eingebettet in alltagsnahe Kontexte.“ Außerdem spielt auch die als 5. Merkmal guten Physikunterrichts bezeichnete „methodische Vielfalt“ und die als 3. Merkmal angeführte „gut strukturierte Darbietung“ eine wichtige Rolle „nachhaltiges Interesse an Physik aufzubauen – möglichst lebenslang.“ (ebd., S. 5) Im Punkt 7 wird die „Förderung aktiven und selbstgesteuerten Lernens“ erwähnt. „Guter Physikunterricht enthält deshalb offenere, problemorientierte Phasen, in denen die Schüler zu eigenen Fragen angeregt werden, in denen sie ein Experiment entwickeln und dessen Ergebnisse dann bewerten, in denen sie notwendige Informationen beschaffen, in denen sie Argumente miteinander austauschen.“ (ebd., S. 5)

Nach Meinung des Autors der gegenständlichen Arbeit werden alle hier angeführten Merkmale bei virtuellen Versuchen erfüllt. Im Besonderen gilt das auch für das zweite Merkmal guten Physikunterrichts, die sogenannte „vielfältige Motivierung“.

Neben diesen elf Merkmalen beschreibt Merzyn (ebd., S. 2), dass die Unterrichtsmethode Schülerinnen- und Schülerversuch, also das eigene Forschen, als besonders interessant empfunden wird. Lehrerinnen- und Lehrerexperimente liegen zwar knapp dahinter, sind aber noch deutlich interessanter als das theoretische Behandeln von Fragen aus Physik und Technik. Schulbuchtexte zu lesen und Aufgaben zu rechnen zählen zu den unbeliebtesten Tätigkeiten in der Physikstunde.

Versuche, die der Kompetenzentwicklung dienen und im Unterricht Anwendung finden, müssen im Unterschied zu Experimenten, die der reinen Forschung dienen, noch andere Merkmale aufweisen. So muss das Experiment an die Fähigkeiten und den Kenntnisstand der Lernenden angepasst und adäquat strukturiert, sequenziert und portioniert sein. Der Versuch soll zudem so vorbereitet sein, dass er an den aktuellen Forschungsstand aus Lernpsychologie, Wahrnehmungspsychologie, Pädagogik, Motivationspsychologie und physikalischen Arbeitsweisen angepasst ist (vgl. Kircher et al., 2015, S. 235f.).

Aus lernpsychologischer Betrachtungsweise ist relevant,

- dass die Versuchsinhalte mit dem bestehenden Kenntnisstand und Lernkonzepten der Schülerinnen und Schüler kongruent sind.

Theoretische Grundlagen

- dass für die Lernenden Teilschritte nachvollziehbar und erkennbar sind.
- dass die Lernenden aus den Grundlagen auf Kausalzusammenhänge schließen können.
- dass der physikalische Versuch kein Konstrukt der Schule ist, sondern Bestandteil des Realen.
- dass vor Durchführung von Versuchen begleitende Maßnahmen gesetzt werden.

Aus wahrnehmungspsychologischer Sicht ist relevant (vgl. Kircher et al., 2015, S. 235ff.),

- dass genaues Beobachten gefördert und gefordert wird.
- dass die Differenzierungsfähigkeit geschult wird, das heißt, dass unterschiedliche Betrachtungsweisen bei einem Experiment ermöglicht werden, damit ein Sachverhalt eindeutig erfasst werden kann. (So kann zum Beispiel beim Experimentieren mit Bewegungen der Einfluss von Geschwindigkeit und Beschleunigung untersucht werden.)
- dass die Diskriminierungsfähigkeit entwickelt wird. Damit ist die Fähigkeit gemeint, für den Versuch irrelevante Faktoren nachrangig zu behandeln oder zu vernachlässigen. Dies ist eine wichtige Voraussetzung für das Verstehen von physikalischen Abläufen.
- dass im Gegensatz zur Diskriminierungsfähigkeit eine Integrationskompetenz entwickelt wird. Hierbei werden Zusammenhänge erkannt, mit bestehendem Vorwissen verknüpft und somit neue Erkenntnisse gewonnen.

Besonders relevant für die gegenständliche Untersuchung sind die aus den lernpsychologischen Erkenntnissen abgeleiteten Forderungen von Kircher et al. (2015, S. 237f.), die nach Meinung des Autors der vorliegenden Arbeit bei virtuellen Versuchen in besonderem Maße erfüllt sind:

1. Gut lesbare Messergebnisse und Anzeigeskalen
2. Vergrößerung der Versuchsanordnung (Im realen Versuch nur über Kamera und Beamer möglich.)
3. Ausblendung der Nebeneffekte
4. Das eigentliche Versuchsobjekt steht im Fokus
5. Deutliche Ablesbarkeit durch gute Beschriftung

6. Klare Übersicht bei Schlauch- oder Kabelverbindungen
7. Gesicherte Versorgung (z. B. Versorgungsspannung)
8. Schnelle oder komplexe Abläufe mehrfach durchführen
9. Darstellung in mehrfacher Form (z. B. als realitätsnahes Bild und als Skizze)

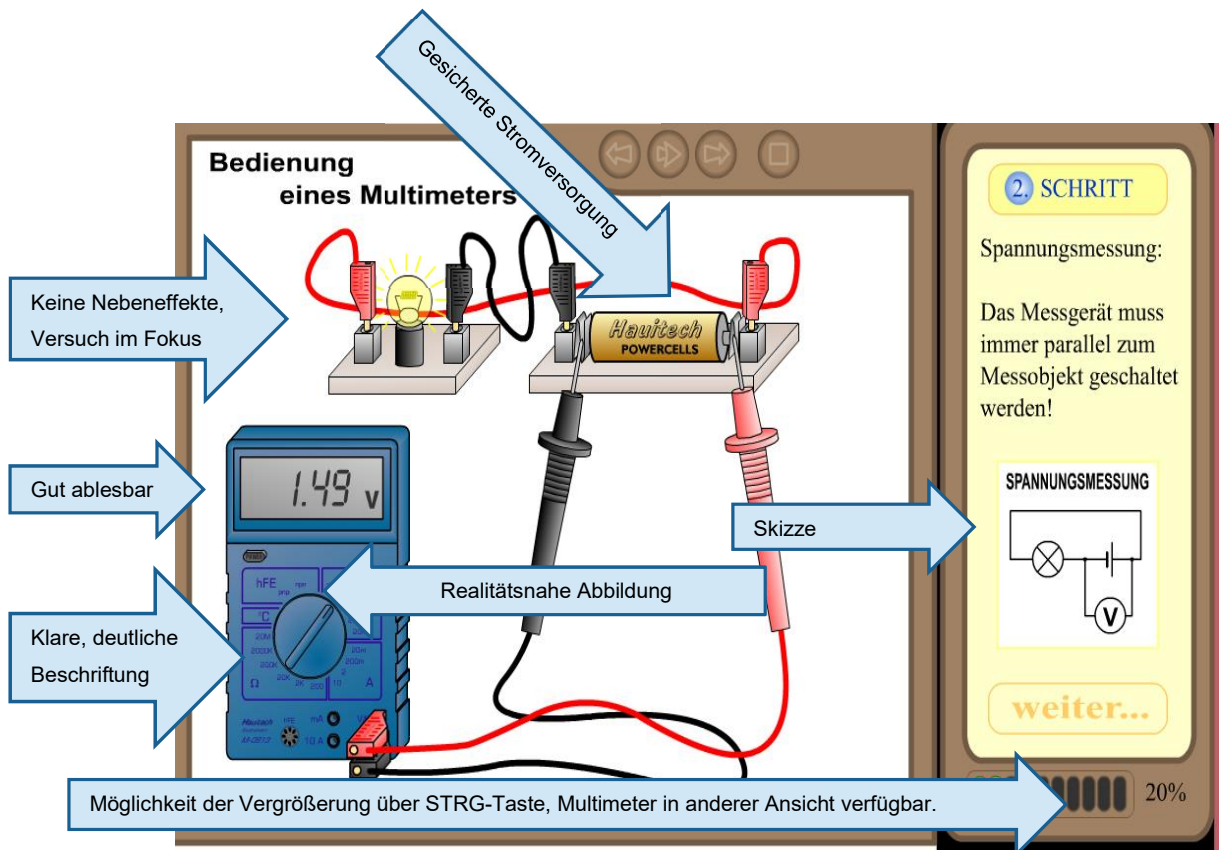


Abbildung 9: Forderungen an Experiment nach Kircher et al. aus: http://www.virtphys.uni-bayreuth.de/elek/source/t_multi.exe

Aus pädagogischer Betrachtungsweise ist von der Lehrkraft zu fordern (vgl. Kircher et al., 2015, S. 238):

- Vorbildwirkung
- präzise Arbeit zeigen
- auf Sicherheitsrichtlinien hinweisen und diese mustergültig befolgen
- einen sachgerechten Umgang mit Messgeräten zeigen
- Verbrauchsmaterial angemessen entsorgen
- korrekte Fachsprache bei Versuchsbeschreibungen verwenden

Aus motivationspsychologischer Sichtweise ist Folgendes zu empfehlen (vgl. Kircher et al., 2015, S. 238f.):

- den Schülerinnen und Schülern die aktive Teilnahme am Unterricht zu gewährleisten
- wenn es die Möglichkeit gibt, sollen die Lernenden auch bei Demonstrationsversuchen Aufgaben übernehmen
- auftretende Effekte nicht verbal vorwegnehmen
- Anreize durch Erfolgserlebnisse setzen

Forcierung von physikalischen Denk- und Arbeitsweisen (vgl. Kircher et al., 2015, S. 239f.):

- Problematisieren: Problemstellung und Wecken eines Erklärungsbedürfnisses
- Konstruieren einer experimentellen Anordnung (Planung, Ausschalten von Nebeneinflüssen)
- Labor: Kontrolle der relevanten Parameter
- Deutung und Interpretation der Effekte und Messwerte

3.1.3 Begründungen und Ziele des Experimentierens für den Unterricht

Neben den soeben dargestellten Forderungen an das Experimentieren nach fachdidaktischen, fachwissenschaftlichen und psychologischen Gesichtspunkten lassen sich für den Unterricht klare Ziele festmachen. So ist für den Lernerfolg die Art und Weise der Durchführung, die unterrichtliche Gestaltung, die Frage nach der Akteurin oder dem Akteur, die Einbettung in die jeweilige Unterrichtsphase von Relevanz (vgl. Barzel, Reinhoffer & Schrenk, 2012, S. 103).

Barzel et al. (ebd., S. 103ff.) sprechen bei Versuchen im Unterricht von zwei Bedeutungsebenen:

- Einerseits sehen sie eine allgemeine Zielebene: Die Komplexität des Experimentierens und die damit verbundenen „vielfältigen kognitiven Tätigkeiten“ sollen die Persönlichkeitsentwicklung unterstützen.

- Andererseits wird auch die „konkret fachliche Ebene“ durch die Entwicklung und Konzeption von Experimenten begünstigt. Die fachliche Ebene ermöglicht nicht nur das Verstehen und Erarbeiten von neuen Begriffen und Erkenntnissen, sondern fördert auch das Vordringen in metawissenschaftliche Bereiche.

Allgemeine Zielebene:

Barzel et al. (2012, S. 104ff.) belegen anhand mehrerer Untersuchungen, dass im Unterricht durchgeführte Experimente positive Auswirkungen auf die Persönlichkeitsentwicklung haben. Dies passiert in jeder Phase des Experiments. Zu Beginn steht eine präzise, stringente Formulierung und Beobachtung. Die aufgestellte Hypothese wiederum verlangt nach einer klaren Untersuchungsfrage. Stets müssen weitere Schritte und weitere Tätigkeiten geplant werden. Die Durchführung ist an bedachtes, sorgfältiges Handeln gebunden und erfordert sorgfältige Beobachtung. Am Ende des Experiments stehen die schriftliche oder verbale Dokumentation und damit die Festigung der neu entstandenen Erkenntnisse. Die Forderung an das Fach Physik, einen Beitrag „zur gymnasialen Bildung und Persönlichkeitsentwicklung“¹² zu leisten, ist auch dem aktuellen Lehrplan (2016) für das Gymnasium in Bayern zu entnehmen. „Physikalischer Sachverstand [...] [fördert] individuelle Kompetenzen, Durchhaltevermögen, Flexibilität, Offenheit für Neues [...]. [...] [S]elbständiges Forschen und Experimentieren sowie der sichere Umgang mit Informationen [...] fördert Kreativität, festigt Selbstvertrauen und lässt Leistung in positivem Licht erscheinen.“ (ebd., o. S., online) Kirstein, Fröhlich, Hoedt und Nordmeier (2010, S. 4) gehen davon aus, dass „[d]ie Anwendungen virtueller Labore als Bestandteil authentischer und reichhaltiger Lernumgebungen für den Physikunterricht und auch für das außerschulische individuelle Lernen von Physik [...] künftig durch die Verfügbarkeit geeigneter Kommunikations- und Computertechnologie (schnelle und drahtlose Netze, mobile Endgeräte mit berührungsempfindlichen Bildschirmen) unterstützt werden.“ Nach Nagel (2009, S. 13) soll eine „[neue] Lernumgebung [...] jedenfalls den Lernenden Kollaboration und Kommunikation über das Lernobjekt ermöglichen“.

¹² <http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1.neu/g8.de/index.php?StoryID=26382&PHPSESSID=8c0b56f2d30d2e76019c41e48b354bd5>

Förderung des kausalen und logischen Denkens

Beim Experimentieren müssen relevante Größen und Einflussfaktoren erkannt und in die Überlegungen miteinbezogen werden. Dabei müssen Wechselwirkungen und Kausalitäten, sowie Ursache-Wirkung-Beziehungen verstanden werden. Es muss erkannt werden, welche Variable von welcher abhängig ist und welchen Einfluss es auf das gesamte System gibt.

Experimente dienen somit der Erkenntnisgewinnung und der empirischen Untermauerung und bedürfen einer klaren Struktur. Bereits am Anfang eines Versuchs müssen die Abläufe logisch überlegt und geplant werden. Auch der Abschluss eines Experiments erfordert wiederum logisches Denken, meist gegliedert in Zwischenschritte (vgl. Barzel et al., 2012, S. 104ff.). Prokoph (2015, S. 70) beschreibt ebenfalls, dass im naturwissenschaftlichen Unterricht das Handhaben von physikalischen Geräten und Apparaturen und das experimentelle Aufbauen von Versuchsanordnungen dazu führt, logische Denkweisen zu stärken.

Förderung sozialer Kompetenzen

Bereits in der Planungsphase sind argumentative Kompetenzen notwendig, um die Zielsetzung des Versuches einer Öffentlichkeit zu erklären. Der (wissenschaftliche) Diskurs ist ein unabdingbares Instrument essentieller Forschung. Experimentieren fördert somit auch das rationale Argumentieren, sowie die Kompetenz der Kommunikations- und Präsentierfähigkeit.

Schülerinnen- und Schülerexperimente fördern die Kommunikation innerhalb der Klasse, Gruppenbildungen werden auch zur Verteilung von Aufgaben präferiert. Das Gelingen eines Experiments erfordert also die geplante Zusammenarbeit mehrerer Klassenteilnehmerinnen und -teilnehmer (vgl. Barzel et al., 2012, S. 104ff.).

Förderung der Genauigkeit und Gründlichkeit

Auch einfach erscheinende Experimente erfordern ein hohes Maß an Exaktheit und gründlichem, geduldigem Arbeiten. Auf den ersten Blick unwichtige Nebensächlichkeiten können während des Versuchsablaufs an Bedeutung gewinnen und erfordern genaues Mitverfolgen und Beobachten. Genaues Beobachten wird zur Basis für das Verstehen und Interpretieren von Phänomenen (vgl. Barzel et al., 2012, S. 104ff.).

Förderung der gezielten Reflexion von Handlungen

Einen wesentlichen Schritt beim Experimentieren stellt die Abstraktion des konkret Beobachteten dar. Die Beobachtung fokussiert sich auf die Beantwortung der zuvor definierten Fragestellung. Dabei wird das Entdeckte durch Reflexion in einen theoretischen Rahmen gebracht. Somit dient das Experiment dazu, „grundlegende erkenntnistheoretische und wissenschaftliche Arbeitsweisen“ zu vermitteln. (Barzel et al., 2012, S. 107) In der Schule kann eine vertiefte Reflexion bewusst herbeigeführt werden, indem die Schülerin oder der Schüler die Anweisung erhält, das Versuchsergebnis nochmals zu erklären (vgl. ebd., S. 104ff.).

Wie bereits in Kapitel 3.1 beschrieben, müssen Versuche immer wieder replizierbar sein (vgl. Czepel, 2013, S. 1; Bannwarth, Kremer & Schulz, 2013, S. 12).

Was sich nicht wiederholen lässt, existiert nicht. (Czepel, 2013, S. 1)

Förderung einer kritischen Haltung

Die Schülerinnen und Schüler sollen durch das Experiment zu kritischer Nachdenklichkeit erzogen werden und Wissen nicht nur konsumieren, sondern immer auch selbst aktiv versuchen, den Dingen auf den Grund zu gehen.

Die Interdependenz zur Lehrperson wird durch die Selbstständigkeit geringer, da die Schülerinnen und Schüler selbst Wissen erlangen und überprüfen können.

*Experimentieren steht, wenn es im Unterricht sinnvoll umgesetzt wird,
in Korrelation zu Autonomieerleben. (Barzel et al., 2012, S. 108)*

Dass Experimente nicht immer kritisch hinterfragt werden, zeigt der Versuch, in dem eine brennende Kerze ins Wasser gestellt und ein Glaszylinder darübergestülpt wird. Die Kerze steigt nun mit dem Wasserspiegel um zirka ein Fünftel der Zylinderhöhe an, was wiederum darauf schließen lässt, dass 21 Prozent des Anteils in der Luft Sauerstoff sind. Es stimmt zwar, dass nur ein Fünftel der Luft aus Sauerstoffmolekülen besteht, allerdings ist dies nicht die Ursache für das Aufsteigen des Wassers. Der Grund liegt an der Kontraktion des sich abkühlenden Gases im Zylinder (vgl. Barzel et al., 2012, S. 108.; Bach, 2013, o. S., online)

Fachliche Ziele:

Selbst die fachbezogene Ebene darf sich nicht nur am eigenen Fach orientieren. Metawissenschaftliche, fächerverbindende und lernpsychologische Bereiche müssen

stets berücksichtigt werden. Als fächerverbindende Eigenschaft kann in der Sekundarstufe der ähnliche versuchstechnische Ablauf in verschiedenen naturwissenschaftlichen Fächern sein. Die Erlangung und Verarbeitung von Daten sind innerhalb des Fächerkanons eng miteinander verquickt (vgl. Pospiech, 2013, S. 74f.).

Kenntnisse und Kompetenzen, die im Umgang mit Neuen Medien erlangt worden sind, können auch in weiteren Fachbereichen genutzt werden. Außerdem können physikalische Versuche auch als Bindeglied zu anderen Fächern fungieren (vgl. Barzel et al., 2012, S. 108f.). Es können zum Beispiel physikalische Bewegungsanalysen mit Übungen und Erfahrungen aus dem Sportunterricht kombiniert werden (vgl. Barzel et al., 2012, S. 109). Dies gilt selbstverständlich auch für virtuelle Versuche, was folgende Abbildungen zeigen:

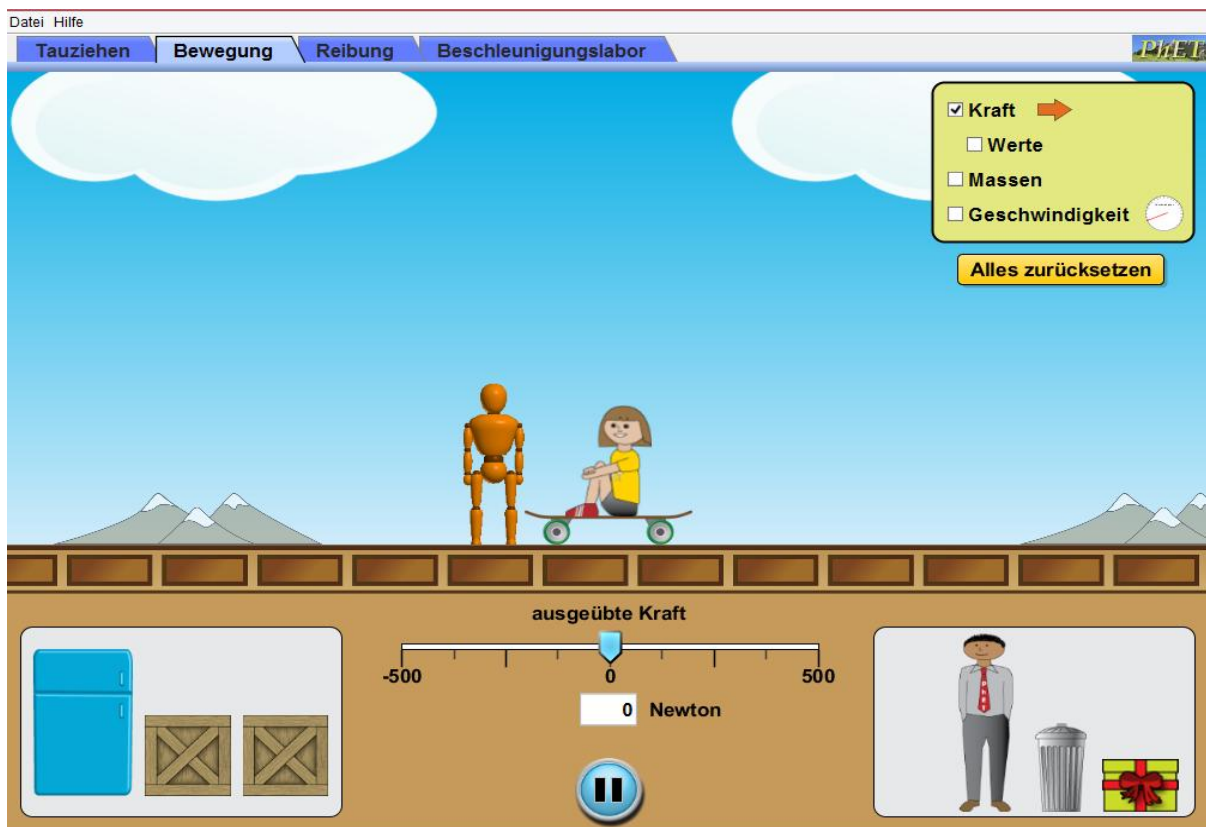


Abbildung 10: Virtuelle Versuche und Sport 1 (https://phet.colorado.edu/sims/html/forces-and-motion-basics/latest/forces-and-motion-basics_de.html)



Abbildung 11: Virtuelle Versuche und Sport 2 (https://phet.colorado.edu/sims/html/forces-and-motion-basics/latest/forces-and-motion-basics_de.html)

Nach Barzel, Reinhoffer und Schrenk (2012, S. 109f.) steigert sowohl das Herstellen von kognitiven Konflikten als auch der Bezug zum Alltag die intrinsische Motivation. Außerdem dient in der Sekundarstufe das Experimentieren dazu, fachliche Schlüsselkompetenzen und neue Begriffe kennenzulernen. „Richtiges Experimentieren“ (ebd., S. 109) bildet auch die Voraussetzung, durch fachlich-prozessuale Ziele Hypothesen zu bilden. Im Gegensatz dazu dienen in der Wissenschaft Experimente dazu, gewonnene Hypothesen zu verifizieren.

3.1.4 Selbstständiges Experimentieren

Das Ministerium des Landes Nordrhein-Westfalen hatte auf Grund der Ergebnisse der TIMSS¹³ Studie bereits 1998 auf deutliche Schwächen der deutschen Schülerinnen und Schüler mit einem Modellversuch¹⁴ reagiert, der die Effizienzsteigerung des

¹³ Trends in International Mathematics and Science Study

¹⁴ Modellversuch SINUS mit dem Ziel, die Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts zu steigern.

naturwissenschaftlichen Unterrichts als Ziel hatte. 440 nordrhein-westfälische Schulen der Sekundarstufe I und II setzten auf Lehrerinnen- und Lehrerkooperationen, wobei unter anderem die kontinuierliche Veröffentlichung von Unterrichtsmaterialien im Vordergrund stand.

Inzwischen werden die Forschungsergebnisse allen nordrhein-westfälischen Schulen zur Verfügung gestellt und sind auch im Internet abrufbar.¹⁵

Ein Kernproblem der täglichen Unterrichtspraxis ist, dass sich Lehrerinnen und Lehrer „bei der Vorbereitung und Durchführung ihres Unterrichts an einem fiktiven, durchschnittlich leistungsfähigen und motivierten Schüler orientieren und ihren realen Schülerinnen und Schülern wenig Raum lassen, ihren eigenen Interessen an einem (vorgegebenen) Thema nachzugehen, und dies auf eigenen Lernwegen“. (Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2007, S. 9ff.)

Genau hier setzt das Sinus-Projekt an: Die mitwirkenden Lehrerinnen und Lehrer versuchen den „Schülerinnen und Schülern mehr Raum für ein selbstständigeres Arbeiten und Lernen [zu] eröffnen.“ (ebd., S. 9) Selbstlernen wird ermöglicht, „indem (digitale) Medien für das selbstständige [Lernen] entwickelt und erprobt wurden.“ (ebd., S. 11) Eine wesentliche Erkenntnis war, „dass ein selbstständigeres Lernen der Schülerinnen und Schüler bereits weit vor dem Erreichen der Sekundarstufe II angebahnt werden muss [...]“. (ebd., S. 11) Die „gute ‘Tradition’ individuellen und selbstständigen Lernens“ sollte bereits ab der Grundschule praktiziert werden. (ebd., S. 11)

Nach Frischknecht-Tober und Labudde (2010, S. 144) „wirkt der aktive, handlungsorientierte Wissenserwerb, wie er sich beim Experimentieren und Forschen zeigt, positiv auf die Lernmotivation“. Schülerinnen und Schüler sind dann motiviert Experimente durchzuführen, wenn (vgl. Frischknecht-Tober & Labudde, 2010, S. 144):

- das Experiment herausfordernd auf den Lernenden wirkt
- das Experiment ein klares Ziel verfolgt
- das Experiment auch Möglichkeit für Freiräume gibt
- das Experiment funktioniert
- das Experiment in einem größeren Kontext steht

¹⁵ <http://www.sinus-transfer.de>

Lassaulx (2007, S. 103ff.) sieht in der Durchführung von selbstständigen Versuchen eine Möglichkeit „die Nachteile des ‘klassischen’ Physikunterrichts zu überwinden.“ Lassaulx vertritt die Meinung, dass im klassischen Physikunterricht Begriffe wie „Kompetenz [und] Kompetenzentwicklung [...] so gut wie nicht [vorkommen] und [d]as selbstständige Erarbeiten des Fachwissens [...] eine eher untergeordnete Rolle [spielt].“ (ebd., S. 103) Ein lehrerzentrierter Demonstrationsversuch kann im besten Fall Staunen hervorrufen. Auch ein Lehrerinnen/Lehrer- oder Schülerinnen/Schülergespräch geht „doch meistens an den Ohren und Gedanken der meisten Schülerinnen und Schüler vorbei“, was auf Grund der passiven Schülerinnen- und Schülerrolle wiederum Probleme mit der Disziplin mit sich bringt. (ebd., S. 104) Die von Lassaulx aufgezählten „Nachteile des ‘klassischen’ Physikunterrichts“ erfordern ein neues Nachdenken über die Art und Weise, Physik zu unterrichten. Eine Möglichkeit, hier zu Verbesserungen zu kommen, besteht darin, die Schülerinnen und Schüler zu mehr Selbstständigkeit und Eigenständigkeit anzuregen“ (ebd., S. 104). Selbstständige Beschäftigung im Physikunterricht erfordert eine vertiefende Auseinandersetzung mit den Lerninhalten.

Problemstellungen sollten so ausgelegt sein, dass Schülerinnen und Schüler an der Planung, Durchführung, Auswertung und Protokollführung beteiligt sind (vgl. ebd., S. 104).

Lassaulx kritisiert in diesem Zusammenhang explizit, dass „[d]er Umgang mit Neuen Medien (Internet, Simulationsexperimente u.Ä.) [...] im ‘klassischen’ Physikunterricht kaum auf[taucht] und [d]ie Frage nach der Lernmotivation, also danach, warum sich eine Schülerin oder ein Schüler überhaupt mit Physik beschäftigen sollte, [...] kaum thematisiert [wird].“ (ebd., S. 104)

3.1.5 Motivation beim naturwissenschaftlichen computerunterstützten Experimentieren

Mézes und Erb (S. 1ff.) untersuchten 2011 anhand von drei relativ komplexen naturwissenschaftlichen Fragestellungen die Motivation von Schülerinnen und Schülern. Dabei wurden zwei Hypothesen überprüft: Zum einen, ob die erfolgreiche Bearbeitung eines naturwissenschaftlichen Experiments und somit die Fragestellung an die Natur an sich motivierend wirkte. Zum anderen, ob die naturwissenschaftlichen

Anleitungen, welche an die Struktur von Computerspielen angelehnt waren, Einfluss auf die Motivation der Probandinnen und Probanden hatten. Die Aufgaben mussten in Einzelarbeit erledigt werden, jede Kandidatin und jeder Kandidat hatte ein eigenes Notebook zur Verfügung. Dabei waren die relevanten Inhalte in HTML-codierten Seiten, Bildern und Videos verpackt. Eine Versuchsgruppe musste vor dem Start der Versuche die gesamte Anleitung durchlesen, während die andere Gruppe bereits während des Lesens der Handlungsschritte beginnen durfte. Vor und am Ende der Versuchsdurchführung wurden Motivationstests vorgenommen. Der erste Test ergab, dass sich beide Gruppen ähnlich interessiert und herausgefordert fühlten. Auch die Aussicht auf Erfolg war annähernd gleich.

Nach Durchführung der Experimente wurden die motivationsrelevanten Daten wiederum erhoben. Das Ergebnis ließ den Schluss zu, dass die wissenschaftliche Fragestellung nicht immer im Vordergrund stand, sondern, dass „die Motivation zum Experimentieren [...] vermutlich eher aus der Herausforderung [resultiert], das Experiment erfolgreich durchzuführen“. (Mézès & Erb, 2011, S. 1)

Die erhobenen Daten bestätigen unsere Vermutung, dass neben dem Sachinteresse, die Herausforderung, das Experiment erfolgreich zu beenden, eine wichtige Motivationskomponente beim Experimentieren ist. (Mézès & Erb, 2011, S. 3)

Die empfundene Herausforderung vor dem Versuch und die Anstrengung beim Experimentieren zeigte bei Mézès & Erb (ebd., S. 4) höhere Korrelationswerte ($r = 0,49$) als „die Korrelation zwischen dem Interesse vor dem Experimentieren (FAM-Interesse)¹⁶ und der Anstrengung während des Experimentierens [...] mit $r = 0,383$.“ So war in einem der Experimente der Bau eines Elektromotors unter Zuhilfenahme einer selbst gewickelten Spule, Batterie, Magneten usw. gefordert. Da das Durchlesen der physikalischen Erklärung nicht verpflichtend verlangt war, wurde sie mehrheitlich nicht beachtet. Die meisten Testpersonen freuten sich, den Motor erfolgreich konstruiert zu haben – „der naturwissenschaftliche Hintergrund des Experiments, also die Frage, warum sich die stromdurchflossene Spule überhaupt im Magnetfeld dreht, interessierte sie anscheinend nicht.“ (ebd., S. 5)

¹⁶ Der FAM-Test wird von den Autoren Mézès und Erb (2011, S. 4) als „relativ gut geeignet“ beschrieben. Auch für die vorliegende Arbeit werden Subskalen des FAM verwendet um die aktuelle Motivation zu messen. Ausführliche Erklärungen sind in Kapitel 4.4.2 zu finden.

Im zweiten Teil der Studie, bei dem untersucht wurde, ob sich die Anleitung bzw. die Instruktionen, die mittels Computer gestellt wurden, positiv auf die Motivation auswirken, konnte kein Hinweis auf Veränderung der Motivationslage gefunden werden. Gerade aus dieser Tatsache heraus empfehlen Mézes und Erb (ebd., S. 5) eine weitere Studie zu erstellen, bei der die Experimentieranleitungen „noch stärker den Prinzipien von Computerspielanleitungen gehorchen.“

Da es in der vorliegenden Studie weniger um die Art der Anweisungen für die Schülerinnen und Schüler geht, sondern mehr um die Durchführung von virtuellen Versuchen am Computer, sind die Ergebnisse von Möslinger (2012) noch bemerkenswerter als jene von Mézes und Erb. Sie geben einen wichtigen Hinweis auf eine mögliche Veränderung der Motivation der Schülerinnen und Schüler durch den Einsatz Neuer Medien. Möslinger (2012, S. 33) zeigte nämlich, dass die Möglichkeit mittels Laptop oder Smartphone ortsunabhängig auf Informationen und Materialien zugreifen zu können eine entsprechende Erhöhung der Motivation bewirkt. Mängel, wie eine nicht vorhandene Mitschrift, können durch eine Kombination aus im Internet verfügbaren Animationen, Videos, Bildern etc. wettgemacht werden.

Reinmann-Rothmeier (2003, S. 14) sieht das didaktische Potenzial von Neuen Medien in der höheren Anschaulichkeit, der Möglichkeit verschiedene Formen der Wissensaneignung zu nützen und in der Erhöhung der Motivation vor allem bei medialer Darstellung von Lehr- und Lerninhalten. Auch für Reinmann-Rothmeier (ebd., S. 14) ist der orts- und zeitunabhängige Zugriff auf Inhalte und die Möglichkeit, immer neuartigere Lernprozesse absolvieren zu können, Voraussetzung für selbstgesteuertes Lernen. Ebenso fördert die Möglichkeit von neuen Kommunikations- und Kooperationsformen die didaktische Kreativität.

Hucke (2000, S. 142) kam in seiner Studie „Handlungsregulation und Wissenserwerb in traditionellen und computergestützten Experimenten des physikalischen Praktikums“ zu der Erkenntnis, dass neben einer offenen Gestaltung des Praktikums zeitgemäße Themen und anwendungsbezogene Projekte als motivationsfördernd anzusehen sind. Außerdem sieht Hucke die Möglichkeit eigene Ziele zu verfolgen als Basis „zur Verbesserung der Arbeitsmotivation“. (ebd., S. 143)

Blažek et al. (2008, S. 12) untersuchten in einer Sekundarstufe I (sechste Schulstufe) die Motivation unter vermehrter Verwendung von neuen Technologien (Computer, Internet, Grafiktaschenrechner, Applets) und dem Einsatz von Sensoren, welche über

ein Interface mit den Grafikrechnern verbunden waren. Das Forschungsinteresse war entstanden, da die Schülerinnen und Schüler, die bereits im Vorjahr mit Neuen Medien unterrichtet worden waren, einen deutlichen Leistungs- und Interessenszuwachs zeigten (vgl. ebd., S. 5). Auch die neuerliche Studie zeigte auf, dass die Schülerinnen und Schüler mit „Feuereifer“ bei der Sache waren, vor allem der grafische Taschenrechner und die daraus erhaltenen Ergebnisse und Diagramme wurden im Unterricht richtig interpretiert und eingesetzt. Die Autoren sind sogar der Meinung, dass der „Einsatz des Grafikrechners mit seinen Sensoren eine noch größere Motivation [hervorrief], als sie der herkömmliche Unterricht bieten kann.“ (ebd., S. 12) Lechner (2003) führte eine Untersuchung zur medienunterstützten Lehre in der Physik durch. Er legte die Untersuchung so an, dass die Selbstständigkeit der Schülerinnen und Schüler angeregt wurde. Das Recherche- und Lerntempo konnte von den Lernenden selbstständig bestimmt werden, was nach Lechner (2003, S. 13) einen positiven Einfluss auf die Motivation hatte. Eine weitere motivationssteigernde Wirkung war durch den Computer- und Interneteinsatz gegeben, da die Schülerinnen und Schüler aufgrund der umfangreichen Rechercheergebnisse die Möglichkeit hatten, Informationen selbst zu vergleichen, auszuwählen, zu gewichten und zu strukturieren. Es gab aber auch nachteilige Rückmeldungen, vor allem was die Informationsflut im Internet betrifft. Sie wurde von vielen als sehr schwer überblickbar und als zu umfangreich empfunden. Positiv hervorgehoben wurde, dass der Computer- und Interneteinsatz das Stoffgebiet lebendiger und spannender erscheinen ließ. Multimediales Physiklernen führte zu „einem leichteren Zugang zur Physik, zur Erhöhung der Lernmotivation und dadurch zu einer Steigerung des Lernerfolgs, was wiederum die Neugierde am Fach weckt und das Interesse erhöht.“ (Lehner, 2003, S. 15)

Die empirischen Befunde von Herzig und Grafe (2006, S. 3) zeigen, dass die überwiegende Mehrheit der Lehrpersonen mit den neuen Informations- und Kommunikationstechniken eine „Förderung von Motivation und Lernfreude“ erwartet (vgl. ebd., S. 23). Die Lehrerinnen und Lehrer attestieren der Wirkung von Neuen Medien einerseits aufgrund von beruflicher Relevanz für die Schülerinnen und Schüler und andererseits aufgrund der Möglichkeit des selbstständigen und projektorientierten Arbeitens in der Schule einen Anstieg der Motivation (vgl. ebd., S. 33).

3.2 Medien

Der Ursprung des Begriffs Medium stammt aus dem Lateinischen und bedeutet so viel wie Mitte oder Mittler (lat.: medium/medius, dt.: Mitte/Mittelpunkt bzw. dazwischenliegend). In der Medienpädagogik versteht man unter Medien „Kanäle oder Systeme [...] über die Daten oder Informationen gespeichert, übertragen oder vermittelt werden.“ (Ebner, Schön & Nagler, 2011, S. 3f.)

Für Tulodziecki, Herzig und Blömeke (2004, S. 135) wird „die Form, in der ein Inhalt präsentiert wird, als Medium“ bezeichnet, aber nur dann, wenn „potentielle Zeichen mithilfe technischer Geräte gespeichert, übertragen oder verarbeitet und in abbildhafter oder symbolischer Darstellung wiedergegeben werden.“ (ebd., S. 135)

Winkler (2004, S. 9ff.) definiert den Medienbegriff auf Grund seiner Vielschichtigkeit über 18 Seiten sehr umfassend, denn seiner Meinung nach kann dieser Terminus nur durch weitere kumulative Definitionen erklärt werden. Einen Grund dafür sieht Winkler darin, dass einige Definitionen in sich wenig kohärent sind und jede weitere Definition wiederum weitere Begriffe zur Definition braucht.

Er bedient sich in seiner Basisdefinition folgender Begrifflichkeiten (vgl. Winkler, 2004, S. 9f.):

1. Kommunikation¹⁷
2. Symbolischer Charakter¹⁸
3. Technik¹⁹
4. Form und Inhalt²⁰
5. Medien überwinden Raum und Zeit²¹
6. Medien sind unsichtbar²²

Issing und Klimsa (2002, S. 558) postulieren eine speziell auf das Lehren und Lernen abgestimmte eigene Definition:

17 „Medien dienen als Maschinen der gesellschaftlichen Vernetzung“

18 „Von anderen Mechanismen gesellschaftlicher Vernetzung [...] unterscheiden sich Medien durch ihren symbolischen Charakter.“

19 „Medien sind immer technischer Natur“

20 „Medien erlegen dem Kommunizierten eine bestimmte Form auf.“

21 „Dienen zur Überwindung geografischer Distanzen (Telekommunikation)“

22 „Mediennutzung geschieht im Alltag weitgehend unbewusst.“ (Winkler, 2004, S. 9f.)

Theoretische Grundlagen

Medien sind Objekte, technische Geräte oder Konfigurationen, mit denen sich Informationen speichern und kommunizieren lassen. Lerner haben es mit einem „medialen Angebot“ zu tun. Es zeichnet sich aus durch Botschaften, Codierungen und Strukturierungen, die medial kommuniziert werden. Das mediale Angebot ist Teil der Lernumgebung und wird zusammen mit dieser Situation wahrgenommen und genutzt. (Issing und Klimsa, 2011, S. 536)

Im Physikunterricht sind Medien wie Tafel, Tafelexperiment, Schulbuch, Overheadprojektor, Funktionsmodelle, audiovisuelle Medien, technische Funktionsmodelle und an zentraler Stelle das Experiment als unverzichtbare Bestandteile anzusehen. Im Laufe der Jahre sind zu den bereits Vorhandenen immer wieder neuere Arten, wie zum Beispiel computerunterstützte Medien, hinzugekommen (vgl. Fischer, 2008, S. 84; Tulodziecki et al., 2004, S. 135).

Tulodziecki et al. (2004, S. 135) empfehlen in Bezug auf den Unterricht „von einem umfassenden Medienbegriff auszugehen, weil damit generell der Blick für die Form geschärft wird, in der Unterrichtsinhalte vermittelt werden.“ Dabei kommt es, zum Beispiel durch abbildhafte oder symbolische Darstellungen zu einer Reduktion des Inhalts im Vergleich zur realen Umwelt. Da bei reinen Modellen auch die Möglichkeit besteht, falsche Vorstellungen der Wirklichkeit zu entwickeln, sollten „Begriffe und inhaltliche Aussagen möglichst auf reale[n] Formen der Erfahrung [basieren]“ (ebd., S. 135). Entscheidend für die vorliegende Arbeit ist aber, dass nach Tulodziecki et al. (ebd., S. 135f.) im Unterricht keineswegs mit „realen Erfahrungsformen“ begonnen werden muss.

Dort, wo aufgrund des bisherigen Lebens-und Bildungsweges bereits direkte Erfahrungen vorliegen, kann selbstverständlich auf diese zurückgegriffen und mit modellhaften, abbildhaften oder symbolischen Präsentationen angemessen gelernt werden. Unter Umständen bietet es sich auch an, einen Wirklichkeitsbereich bzw. Inhalt wegen der besseren Überschaubarkeit zunächst mithilfe modellhafter Erfahrungen und abbildhafter Form, eventuell sogar mit symbolischen Darstellungen zu erschließen. Dann ist es jedoch wichtig, an

*geeigneter Stelle den Rückbezug auf die Realität zu leisten.
(Tulodziecki et al., 2004, S. 135f.)*

Schröder (2003, S. 5) stellt fest, dass „[m]oderne, effektive Konzepte [...] oft mit dem Einsatz Neuer Medien im Unterricht gleichgestellt“ werden.

Allerdings ergibt sich aus der alleinigen Bereitstellung Neuer Medien nicht automatisch eine effektivere Lehr- oder Lernumgebung (vgl. Schröder, 2003, S. 6).

Trotzdem lassen sich nach Schröder moderne Unterrichtskonzepte (ebd., S. 5) nur durch aktuelle Unterrichtsformen verwirklichen. Für ihn zählen neben dem Einsatz zeitgemäßer Lehr- und Lerntheorien die Verwendung von Neuen Medien zu den wichtigsten Komponenten modernen Unterrichts.

3.2.1 Neue Medien

Der Begriff „neu“ an sich unterliegt einem bestimmten aktuellen Zeitfenster und nach einer Eingewöhnungsphase kann sich die Perspektive schon wieder geändert haben (vgl. Fischer, 2008, S. 84 f.; vgl. Kircher et al., 2010, S. 248; vgl. Müller, 2006, S. 27). Wie auch Stadtfeld (2004, S. 28) und Mut (2008, S. 7) beschreiben, gibt es keine eindeutige Definition, wann der Terminus Neue Medien verwendet werden darf. In den letzten Jahrzehnten entstand eine Vielfalt verschiedenster manchmal sogar widersprüchlicher Begriffserklärungen.

2014 sehen Jürgens und Petko auf Grund der Tatsache, dass Computer bereits seit mehr als 30 Jahren allgemein erschwinglich sind, den Begriff „Neue Medien“ als „eigentlich nicht mehr zeitgemäß an.“ (ebd., S. 18) Allerdings schwächen sie im weiteren Verlauf diese Behauptung gleich wieder ab, da mittels „digitalen Technologien [...] ständig neue Anwendungsmöglichkeiten erfunden werden, ist [der Begriff] immer wieder auf neue Weise zutreffend.“ (ebd., S. 18)

Genauso definierte Aufenanger (1992, S. 100) 22 Jahre zuvor die Begrifflichkeit von Neuen Medien. Auch er sah bloß einen graduellen Unterschied zu bisherigen Medien aufgrund der jeweiligen technischen Entwicklungen und deren Umsetzbarkeit.

Ähnlich sieht die Definition von Brünken und Leuthner (2000, S. 8) aus. Sie sehen den Unterschied „weder in inhaltlichen, noch in didaktischen Konzeptionen, sondern vielmehr in [der] technologischen Basis.“

Der Unterschied besteht ihrer Meinung nach lediglich in der konkreten Umsetzung nach den jeweiligen technischen Möglichkeiten bzw. deren Grenzen. Somit sind Neue Medien der rapiden technologischen Entwicklung unterworfen.

Bereits im Jahr 1995 beschrieb Negroponte (S. 27) die digitale Speichermöglichkeit als wesentliches Merkmal von Neuen Medien. Außerdem ging er (ebd., S. 204) bereits damals davon aus, dass für soziale Interaktionen räumliche Beschränkungen aufgehoben werden würden und war sich sicher, dass man in naher Zukunft über Internettechnologien weltweit in Echtzeit kommunizieren könne.

Eine für die vorliegende Arbeit umfangreiche und allgemein gehaltene Basisdefinition für den Begriff „Neue Medien“ lässt sich im Band 10 des Lexikons „Die Zeit“ (2005, S. 310) finden:

Sammelbegriff für Kommunikationsmittel zur Individual- und Massenkommunikation, die durch die Entwicklung neuer Technologien entstanden, dabei auch mit traditionellen Medien vernetzt sind und teilweise in neuen Organisationsformen betrieben werden, z. B. digitaler Hörfunk und digitales Fernsehen, HDTV, interaktives Fernsehen, Fax, E-Mail, Videokonferenz, Internet.

Themenrelevant ist die definitorische Abgrenzung von Neuen Medien nach Unger (2010, S. 99). Er beschreibt, dass durch Neue Medien und deren technische Möglichkeiten eine Annäherung oder Verbindung von realen und virtuellen Sphären ermöglicht wird.

Ein entscheidender Unterschied der Neuen Medien im Vergleich zu den klassischen Massenmedien ist dabei, dass Neue Medien zunehmend Anwendungen anbieten, die eine neue, virtuelle Handlungssphäre eröffnen, die in vielfältiger und sehr enger Weise mit realen Handlungen und Sozialität verknüpft sind. Viele Aktivitäten und Handlungsformen, die als nicht-medialisiert und in materiellen Räumen verankert geläufig sind, verlagern sich in oder verbinden sich

mit dieser Sphäre, die auf Digitalität, Interaktivität und Vernetzung basiert. (Unger, 2010, S. 99)

Unger (2010, S. 99) geht von der These aus, „dass mit der Verbreitung digitaler, softwarebasierter Medientechnologie eine neue Stufe der Vermischung von real-materiellen und virtuell-softwarebasierten Räumen eingesetzt hat [...]“. Er spricht daher von einer Hybridisierung und meint damit die Verschmelzung (ebd., S. 106) von virtuellen und real-materiellen Räumen.

In diesem Zusammenhang spricht Unger auch von „augmented reality“. Darunter versteht er (ebd., S. 106f.) keinen eigenständigen geschlossenen Sinnbereich, sondern eine Erweiterung des „real-materiellen Raum[es]“. Als Beispiel führt er das Erlangen von Zusatzinformationen auf Head-up-Displays, die bei der Windschutzscheibe eines Autos montiert sind, an. Durch diese technologisch geprägten Zusatzinformationen wird das Handeln der Autofahrerin oder des Autofahrers beeinflusst.

Es gibt aber auch Beispiele aus der Industrie: Mechaniker erfahren über Cybergoggles (virtuelle Brille) „wie und wo ein bestimmtes Teil (z. B. das Türschloss) einzubauen ist.“ Der User kann so auch auf die Erfahrungswerte anderer zurückgreifen.

Nach Unger (ebd., S. 114ff.) „sind virtuell-softwarebasierte Orte und Räume, deren Ausbreitung vor allem durch die rasante Verbreitung softwarebasierter und vernetzter Anwendungen forciert wird, nicht als abgegrenzt von realer Sozialität zu verstehen. Sie stellen vielmehr eine Erweiterung bzw. Anreicherung des lebensweltlichen Raums dar, die mit einer grundlegenden Transformation in Verbindung steht: Materielle und virtuelle Anteile verbinden und vermischen sich zunehmend und führen zu einer hybriden Alltagswelt.“

So ist es nach Unger für den Entwicklungs- und Bildungsprozess irrelevant, ob Objekte virtueller oder realer Natur sind. Nach Unger kommt in Zukunft für die Pädagoginnen und Pädagogen die Aufgabe des „Settingsberaters“ dazu. „Hierzu gehört auch das Arrangieren hybrider Settings [sic!], eine Aufgabe, die Wissen über die Gestaltung real-materieller sowie virtueller Räume und der[en] Einrichtung für die Förderung von Lern- und Bildungsprozessen erfordert.“ (ebd., S. 116)

In der vorliegenden Arbeit umspannt der definitorische Rahmen von Neuen Medien aber noch weitere Anwendungsbereiche (vgl. Jürgens & Petko, 2014, S. 18ff.):

- das Speichern, Verbreiten und Verarbeiten von Informationen
- die Möglichkeit zum Ordnen und Durchsuchen von digitalen Medien in vielfältiger Weise
- die Nutzung von interaktiven und adaptiven digitalen Medien
- bisher getrennte Medien konvergieren (so wird ein Handy schon längst nicht mehr zum Telefonieren verwendet, sondern als Kleincomputer, Fotoapparat, Fernsehgerät, Zeitung oder Buch...)
- Individual- und Massenmedien verschwimmen (jeder User im Internet kann breitenwirksam Inhalte online stellen – während klassische Medien nicht mehr exklusiv verfügbar sind)
- neue Möglichkeiten der digitalen Kommunikation (Telefonie, Videotelefonie, ...)
- digitale Medien sind allgegenwärtig (mobile Geräte sind in vielen Fällen immer online)

In dieser Arbeit wird natürlich darauf eingegangen, dass die genannten Anwendungsmöglichkeiten der computerbasierten Technologien in pädagogischer und didaktischer Weise zum Tragen kommen.

Dieser Forderung entspricht die Definition von Fischer (2008, S. 85):

Neue Medien sind computerbasierte Systeme, denen in einer speziellen Lernumgebung eine didaktische Funktion zukommt.

Fischer (ebd., S. 85f.) stellt aber auch klar, dass das bloße Lesen eines Textes auf einem Bildschirm kein Anwendungsgebiet von Neuen Medien ist. Auch das reine Abspielen von Simulationen oder das Ersetzen von Overhead-Folien durch eine computerunterstützte Präsentation stellt seinen Ausführungen nach noch keine Legitimation dar, von Neuen Medien zu sprechen.

3.2.2 Digitale Unterrichtsmedien

Medien unterliegen einem ständigen Wandel. Waren einst Buch, Wandbild und Tafel in Gebrauch, kamen später Unterrichtsfilm und Overheadprojektor zum Einsatz. Einfache Computer wurden im Zweiten Weltkrieg zur Dechiffrierung geheimer

Botschaften entwickelt, danach wurden sie zur Administration großer Datensätze verwendet. Erst als Computer kleiner und kostengünstiger wurden, kamen sie im schulischen Bereich zum Einsatz. Die ersten Ausbildungsstätten verwendeten bereits 1960 Terminallösungen, die Rechenkapazitäten von Großrechnern nutzten. 1980 wurden Computer immer populärer und in den Schulen bereits dazu eingesetzt, um eine „möglichst optimale Darbietung“ zu gewährleisten (Witt & Czerwionka, 2013, S. 15). Oftmals wurde der Computer nur dazu benutzt, bestehende Medien nachzubilden. Textverarbeitungsprogramme anstatt der Schreibmaschine, Internetrecherche anstatt Lexikon, der Beamer anstatt des Overheadprojektors und interaktive Whiteboards anstatt von Wandtafeln (vgl. Jürgens & Petko, 2014, S. 43f.). Nach Herzig und Grafe (2006, S. 4) sind digitale Medien in der heutigen Zeit ein „bedeutender Entwicklungsmotor [für] gesellschaftliche Veränderungen.“ Durch die „starke Dynamik“ in der Medienlandschaft stehen Gesellschaft aber auch die Institution Schule immer wieder vor neuen Herausforderungen.

Herzig und Grafe (2006, S. 9) nehmen Bezug auf Hawkrige (1990, S. 1f.) und geben vier Begründungen für die Verwendung von neuen digitalen Medien an:

- Gesellschaftliche Begründung (social rationale): Die Schule hat die Pflicht, die Schülerinnen und Schüler auf die Welt, die immer mehr von Neuen Medien geprägt ist, vorzubereiten (vgl. Herzig & Grafe, 2006, S. 9).
- Berufsbezogene Begründung (vocational rationale): Die Gesellschaft verändert sich immer mehr zu „einer Informations- oder Wissensgesellschaft, in der Wissen einen Produktionsfaktor darstellt.“ (Herzig & Grafe, 2006, S. 9) Daher müssen auch die Schülerinnen und Schüler grundlegende Computeranwendungen beherrschen.
- Pädagogische Begründung (pedagogical rationale): Mit Hilfe der digitalen Medien ergibt sich durch die neue Lernkultur die Möglichkeit zur Verbesserung der Lernergebnisse. Im Speziellen sind dies z. B. Softwareprodukte für Lehr- und Lernprogramme oder Tools zur Kollaboration (vgl. Herzig & Grafe, 2006, S. 9).
- Katalytische Begründung (catalytic rationale): Neue Medien haben eine katalytische Wirkung in Bezug auf die Schulentwicklung. Durch sie ist eine Veränderung der Unterrichtskultur und der administrativen Vorgänge zu erwarten (vgl. Herzig & Grafe, 2006, S. 9).

Bos und Lorenz (2015, S. 9) beschreiben in ihrer Studie „Schule digital – der Länderindikator 2015“, dass digitale Medien weder im gesellschaftlichen noch im wirtschaftlichen Leben wegzudenken sind. Sie sehen die Verpflichtung der Schule nicht nur darin, fachliche Kompetenzen mediengestützt zu vermitteln, sondern auch durch Förderung der Medienkompetenz ein späteres lebenslanges Lernen zu gewährleisten.

Ein Bildungsauftrag der Schule besteht darin, die Schülerinnen und Schüler zu einem selbstbestimmten, sachgerechten, aber auch kritisch und sozial verantwortlichen Umgang mit Informationstechnologien anzuleiten. Medienbildung hat in unserer Gesellschaft in den letzten Jahren einen hohen Stellenwert eingenommen, die Schule steht in der Verantwortung dem Rechnung zu tragen und die wichtige Schlüsselkompetenz im Umgang mit digitalen Medien zu fördern. (Bos & Lorenz, 2015, S. 9)

Leider zeigt die Studie (n = 1250) aber auch, dass die Hälfte der Lehrerinnen und Lehrer die schulische Ausstattung mit digitalen Medien in der Sekundarstufe I als unzureichend bemängelt. Die IT-Ausstattung lässt in diesen Fällen keinen unterstützenden Einsatz im Unterricht zu. 7,5 Prozent der deutschen Lehrkräfte in der Sekundarstufe I geben zu, noch nie einen Computer für den Schulunterricht verwendet zu haben. Andererseits nützt knapp die Hälfte der Lehrerinnen und Lehrer den PC mindestens einmal pro Woche im Unterricht (vgl. Bos & Lorenz, 2015, S. 14).

Die Bedeutung der Medienkompetenz sowohl für den privaten als auch für den beruflichen Alltag wird von Bos und Lorenz mehrfach untermauert und daraus der Schluss gezogen:

Vor dem Hintergrund der Bedeutung der Medienkompetenz für den privaten und beruflichen Alltag ist es von herausragender Bedeutung, dass IT-bezogene Fähigkeiten der Schülerinnen und Schüler in der Schule gefördert werden. (Bos & Lorenz, 2015, S. 16)

Leider zeigt die Praxis, dass moderne Technologien meist erst nach längerer Zeit im schulischen Alltag umgesetzt werden (vgl. Herzig & Grafe, 2006, S. 162).

Theoretische Grundlagen

Die Kinder und Jugendlichen, die in einer technologisch bestimmten Zukunft leben und arbeiten werden und die in ihrer Freizeit neue Technologien oft rasch adaptieren, erleben in der Schule häufig die Technik von gestern. Dies trägt weder zu ihrer Motivation noch zu ihrer Neugierde auf technische Prozesse noch zu ihrem Interesse, an Innovationen mitzuwirken, bei. (Herzig & Grafe, 2006, S. 162f.)

Wie auch Jürgens und Petko fordern (2014, S. 44), sollte unbedingt auf die „Einbettung in einen Unterrichts- oder Lernkontext“ geachtet und darauf Rücksicht genommen werden, welche „Potenziale genutzt werden“.

Sie verweisen darauf, dass digitale Unterrichtsmedien einen anderen didaktischen Aufbau des Lehrstoffes zulassen (vgl. ebd., S. 45ff.):

Texte können in Form von nicht-linearen Hypertexten gestaltet werden, um bestimmte Wörter oder Fachbegriffe mit einem Link (Sprungmarke) zu versehen und damit gezielt zu einer anderen Textpassage zu verweisen. Somit ist neben linearen Strukturen, auch ein hierarchischer oder netzwerkartiger Aufbau möglich.

Darstellung von linearer Verlinkung:



Abbildung 12: Lineare Verlinkung (vgl. Jürgens und Petko, 2014, S. 49)

Darstellung von hierarchischer Verlinkung:

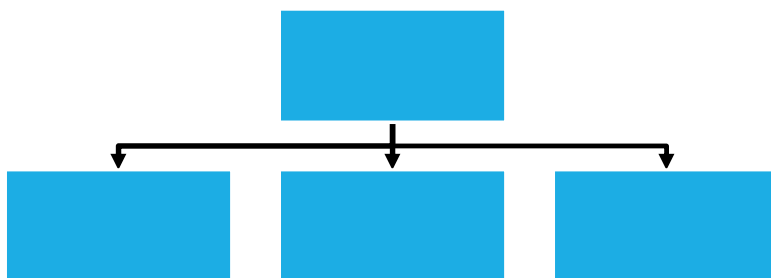


Abbildung 13: Hierarchische Verlinkung (vgl. Jürgens und Petko, 2014, S. 49)

Wie aus den Kapiteln 3.2 und 3.2.1 hervorgeht, gibt es eine Vielzahl an Medien und Möglichkeiten, diese einzusetzen. Der Begriff beinhaltet auch die Frage, welche Art von Medien wann eingesetzt wird (vgl. Krummeck, 2007, S. 14).

Für Mayer (2009, S. 70) ist eine Lernumgebung dann als multimedial zu sehen, wenn mehrere Medien, wie zum Beispiel Texte und Bilder, genutzt werden.

*I define a multimedia environment as one in which material is presented in more than one format, such as in words and pictures.
(Mayer, 2009, S. 70)*

Kircher et al. (2015, S. 402) definieren den Begriff Multimedia in ähnlicher Weise:

Informationen werden über verschiedene Träger, Kanäle und in verschiedenen Darstellungen angeboten.

Ähnlich sieht die Definition bei Martin und Carr (2015, S. 7) aus:

*[...] and the term “multimedia” conveys software applications combining digital media types, such as text, images, sound, and video
[...]*

Wie schon im Kapitel Medien 3.2 erklärt, sind Medien Träger von Informationen und Mittel zur Kommunikation. Zu der Vielfalt an klassischen Medien, wie zum Beispiel Buch, Zeitung, Radio, Fernsehen, Kreide, Tafel, Folie umfasst der Begriff Multimedia auch noch sämtliche Medien, die im Zusammenhang mit den Informations- und Kommunikationstechnologien stehen und wie bereits in Kapitel 3.2.1 dargestellt, als Neue Medien bezeichnet werden (vgl. Krummeck, 2007, S. 14).

Krapp und Weidenmann (2006, S. 444) fassen die genannten Definitionen zusammen. Sie unterscheiden dabei zwei Ansatzpunkte: Einerseits den Hardware-Aspekt, der die „Kombination verschiedener Geräte und Technologien (z. B. Computer plus Bildschirm und Lautsprecher)“ meint und andererseits den vielfältigen Einsatz von Codes und Modalitäten wie „Sprache, Bilder, Musik, Video“.

Ähnlich leiten Issing und Klimsa (2011, S. 537) den Wortstamm „Multi-Media“ her, welcher auch als Begriff für vielseitige Medien gesehen werden kann.

*Multimedia wird charakterisiert durch folgende Aspekte: Medienaspekt
(die Verknüpfung von zeitabhängigen und zeitunabhängigen Medien).*

Integrations- und Präsentationsaspekt (Multitasking, d. h. mehrere Prozesse laufen gleichzeitig ab, Parallelität – Medien werden parallel präsentiert – und Interaktivität – eine Interaktion findet statt). Diese technische Dimension des Multimedia-Verständnisses, muss um die Dimension der Anwendung ergänzt werden. Multimedia ist ein Konzept, das technische und anwendungsbezogene Dimensionen integriert. (Issing und Klimsa, 2011, S. 537)

Für Möller und Wild (2009, S. 113) wurde der Begriff Multimedia durch die Verbreitung des Computers populär. Nach Begriffsdefinition ist diese Sichtweise allerdings unvollständig, denn dem Wortstamm nach sind „keineswegs nur digitale (Lern-) Medien als 'multi'-medial zu bezeichnen, [...] sondern z. B. nahezu alle Lehrbücher, Lehrfilme oder Unterrichtsformen, da in ihnen Medien unterschiedlicher Kodierungsformen enthalten sind, die z. T. auch verschiedene Sinnesmodalitäten ansprechen.“

Batinic und Appel (2008, S. 480) beschreiben, dass man „[i]m Kontext einer kommunikativen und interaktiven Nutzung von Multimedia [...] einer „Vielzahl von unübersehbaren Anwendungen“ begegnet.

Außerdem sprechen sie von einer gesteigerten Erwartungshaltung aufgrund des „besonderen Potenzials dieser Medien“ unter anderem auch deswegen, weil durch „die Neuen Medien eine permanente Verfügbarkeit der Lernmaterialien und virtuellen Lernorte gegeben [ist].“ (ebd., S. 480)

Mit dem Begriff „Multimedia“ werden in der modernen Literatur „vor allem digitale Medien bezeichnet, die Merkmalskombinationen aufweisen, [...] z. B. die Einbettung einer Audiodatei, eines Videos oder einer Animation in eine Textseite.“ (Jürgens & Petko, 2014, S. 64)

Frühe Formen sogenannter multimedialer Lehrmittel bestanden tatsächlich aus einer Kombination unterschiedlicher physisch getrennter Medien. (Jürgens & Petko, 2014, S. 64)

Bereits der Terminus „media“ ist also derart facettenreich und weit gespannt, dass es sinnvoll ist, den daraus abgeleiteten Multimediabegriff nach fachwissenschaftlichen Kriterien zu betrachten:

Technologischer Aspekt: Durch den Einsatz und das Zusammenwirken mehrerer Technologien, entsteht ein multimediales Angebot. Dabei stehen aktuelle Computer- und Telekommunikationstechniken im Vordergrund (vgl. Krummeck, 2007, S. 14f.).

Kognitionspsychologischer Aspekt: Der Einsatz von Multimedia soll bei der Betrachterin und beim Betrachter gezielt Wahrnehmungs-, Verarbeitungs- und Denkprozesse fördern (vgl. Krummeck, 2007, S. 14f.).

Pädagogischer Aspekt: Die Pädagogik und die pädagogische Psychologie stellen inhaltliche Strukturen und pädagogische Konzepte in den Fokus, multimediale Anwendungen werden auf den pädagogischen Nutzen abgestimmt (vgl. Krummeck, 2007, S. 14f.).

Konstruktivistischer Aspekt: Der Konstruktivismus stellt das Individuum und dessen praktikable Sichtweise in den Fokus. Da Wissen im konstruktivistischen Ansatz nur angeregt, aber nicht übertragen werden kann, sollten Lernumgebungen geschaffen werden, in der das Individuum die Möglichkeit hat, selbst Dinge auszuprobieren und Lehrangebote individuell nutzen kann. Besonders förderlich für das Problemlösen sind multimediale Darstellungen, Computersimulationen und auf Hypertexte basierende Lernmedien. Multimediale Anwendungen sollen Learning-by-Doing-Aktivitäten forcieren (vgl. Jürgens & Petko, 2014, S. 33).

Bedeutsam für diese Arbeit sind die weiteren Ausführungen zu Multimedia von Batinic und Appel (2008, S. 478f.). Sie verweisen darauf, dass „wir uns in einer Wissensgesellschaft befinden“ und von Informations- und Kommunikationstechnologien umgeben sind und gehen davon aus, dass es zu einem Ersatz herkömmlicher Unterrichtsmethoden sowohl in Schulen als auch Universitäten kommen wird. Dies kann vor allem „durch virtualisierte sowie oft in besonderem Maße individualisierte Lehr-Lern-Szenarien“ geschehen. Ihren Forschungsergebnissen zur Folge zeigt sich, dass gerade junge Menschen ein großes Interesse an Computerarbeit und internetbasierten Medien haben. Die Autoren beklagen in ihren Ausführungen zu Multimedia jedoch, dass „[d]ieser Motivationsvorteil der jungen Generation [...] bisher für die Entwicklung der sogenannten Wissensgesellschaft kaum aktiv genutzt [wird].“ (Batinic & Appel, 2008, S. 479)

Nach Zumbach (2010, S. 26) lässt der Einsatz von multimedialen computerunterstützten Technologien „primär selbstgesteuerte und individuell

durchgeführte Lernprozesse zu“. Seiner Forschung nach ist aber „die Eigenverantwortung über den eigenen Lernprozess [...] in klassischen Unterrichtsszenarien der wohl am stärksten vernachlässigte Aspekt. Das Versorgen der Lernenden mit Zielen, Methoden und Inhalten führt hier zu einem maximalen Grad an Passivität und Unselbstständigkeit.“ (ebd., S. 23) Eigenverantwortlichkeit steigert zum einen die Wahrnehmung und zum anderen das Selbstvertrauen. „Dies sind allesamt [...] Prädiktoren für eine hohe intrinsische Motivation, den wesentlichen Motor des Lernens.“ (ebd., S. 23)

An dieser Stelle sei nochmals erwähnt, dass die vorliegende Studie genau hier ansetzt und überprüft, inwieweit virtuell durchgeführte – also mit Hilfe internetbasierter Medien – Experimente speziell im Physikunterricht Auswirkungen auf die Motivation der Schülerinnen und Schüler in der Sekundarstufe I haben.

3.2.4 Didaktischer Einsatz von Medien

Im Laufe der Zeit hat sich der Fokus der Mediendidaktik stark verändert. Während in den 1960er und 1970er Jahren fast ausschließlich die Institution Schule im Mittelpunkt stand, beschäftigt sich Mediendidaktik der Neuzeit auch mit betrieblicher Bildungsarbeit, Weiterbildung und informellem Lernen. Es steht dabei nicht der technische Aspekt im Zentrum der Forschungen, sondern vielmehr die Medienwahl und deren didaktische Einsatzszenarien. Somit sind digitale Medien, genauso wie alle anderen Medien auch, pädagogischen Aspekten unterworfen. Seit den 1990ern wird der Paradigmenwechsel vom Kognitivismus zum Konstruktivismus forciert und die Eigenverantwortlichkeit sowie die Selbsttätigkeit der Lernenden gefördert. Dies ist nur dann möglich, wenn sowohl seitens der Lehrpersonen als auch der Schülerinnen und Schüler umfassende Fertigkeiten und Kenntnisse vorhanden sind. Lehrende müssen die didaktischen Einsatzmöglichkeiten verschiedenartiger Medien kennen und in der Lage sein, diese gezielt einzusetzen (vgl. Witt & Czerwionka, 2013, S. 18f.).

Nach Eilks et al. (2004, S. 2) fand ein weiterer Paradigmenwechsel mit Beginn der achtziger Jahre des 20. Jahrhunderts statt. Es gab in dieser Zeit bereits Lern- und Simulationsprogramme, welche aber aufgrund des technischen Entwicklungsstands „noch sehr einfach und grafisch oftmals recht unbefriedigend gestaltet waren.“ (ebd.,

S. 2) In vielen Fällen waren dies nur tutorielle Systeme mit einfachen Multiple-Choice-Aufgaben. Aufgrund des rasanten technischen Fortschritts, sowohl im Hardware- als auch im Softwarebereich hat der Computereinsatz in der Schule an Bedeutung gewonnen und weist mehrere Aspekte auf. So ist der didaktische Einsatz des Computers dann gerechtfertigt, wenn Fachinformationen benötigt werden, didaktische Intentionen verfolgt werden oder dieses Unterrichtsmedium als Informationsträger eingesetzt wird. Aufgrund der Tatsache, dass Informationen und Daten immer schneller verarbeitet werden müssen, ist die Verwendung verschiedenartiger Medien (Multimedialität) und Darstellungsmöglichkeiten (Multicodalität), die bei den Schülerinnen und Schülern mannigfaltige Sinne (Multimodalität) ansprechen, von Vorteil (vgl. ebd., S. 2).

Witt und Czerwionka (2013, S. 20ff.) führen drei didaktische Grundfunktionen von technischen Medien an:

1. Informationsvermittlung und -sammlung: Technische Medien unterstützen die Schülerinnen und Schüler während des gesamten Lernprozesses. So können Medien helfen, komplexe Sachverhalte durch Computeranimationen oder Trickfilme zu veranschaulichen. Primäres Ziel ist die Sammlung, Ordnung und Aufbereitung von Informationen. Auch Informationen über die Lernziele können unter Zuhilfenahme von digitalen Medien kommuniziert werden (vgl. Witt und Czerwionka, 2013, S. 20ff.).
2. Unterstützung selbstgesteuerten Lernens: Vor allem während der Erarbeitungsphase können Medien zur selbstgesteuerten Bewältigung von Aufgaben und damit zur Unterstützung des Lernens dienen. Die Strukturierung der dargebotenen Informationen (Gliederungen, Grafiken oder Diagramme) kann für individuelle Lernprozesse förderlich sein. Die Ermöglichung der Selbstkontrolle durch interaktive Medien wie zum Beispiel Learning-Apps ermöglichen Lernenden schnell und sachlich das eigene Können abzu prüfen, ohne dass dabei emotionale Spannungen mit der Lehrperson auftreten. Instrumente, die kollaboratives Arbeiten ermöglichen, tragen ebenfalls zur Lösung von Aufgaben bei und wirken sich gleichzeitig auf individuelle Lernprozesse aus. Durch gezielten Einsatz dieser Medien lässt sich

selbstbestimmtes Handeln didaktisch umsetzen (vgl. Witt & Czerwionka, 2013, S. 21f; Borcea-Pfitzmann, 2009, S. 28).

3. Präsentation von Informationen: Hier geht es nicht wie im Punkt eins um die Vermittlung von Information, sondern um die Strukturierung von Inhalten und die Aufbereitung für eine eigene Präsentation. Die „reflektierte Betrachtung des Medieneinsatzes“ (Witt und Czerwionka, 2013, S. 21) und der Wunsch nach „der bestmöglichen Präsentationsform“ sind erst nach erfolgreicher Lösung und Zusammenfassung von Lerninhalten möglich (vgl. ebd., S. 20ff.).

Auch wenn Eilks et al. (2004, S. 2) etwas andere Termini als Witt und Czerwionka, (2013, S. 20ff.) verwenden, so sollen auch nach ihrer Meinung die vernetzten Strukturen der multimedialen Lernumgebungen verschiedene Lernwege (Multilinearität) und eine „zumindest begrenzte Interaktivität zwischen Medium und Nutzer“ (Eilks et al., 2004, S. 2) zulassen. Außerdem sind sich die Autoren „relativ sicher, dass bei der Nutzung solcher vernetzter und multimedialer [Mittel] zumindest zum Teil andere lernpsychologische Mechanismen greifen als bei der Nutzung herkömmlicher Medien.“ (ebd., S. 2) Es bieten sich durch die multimedialen Lernumgebungen neue Möglichkeiten konstruktivistisches und kreatives Lernen zu begünstigen (vgl. ebd., S. 2). Auch Nagel (2009, S. 7) geht davon aus, dass Neue Medien das Potenzial haben, „höhere Anschaulichkeit, höhere Motivation und bessere Behaltenseffekte durch die Integration verschiedener Repräsentationsformen auf Basis unterschiedlicher Informationen, Präsentationen zu erreichen.“ Außerdem untermauern die Ausführungen von Nagel, dass Neue Medien durch ihre orts- und zeitunabhängige Zugriffsmöglichkeit beste Voraussetzungen für das selbstgesteuerte Lernen bieten. Ebenso ermöglichen Neue Medien das Zustandekommen von kooperativem Lernen, welches „großen Spielraum für didaktische Kreativität“ (ebd., S. 7) bietet. Nach Weidenmann (2002, S. 58) ist das undifferenzierte Ansprechen von Sinneskanälen sowie der vielfältige Einsatz von Multimedia in manchen Fällen auch nachteilig. Weidenmann korrigiert in folgender Weise: Anstatt einfach (naiv) davon auszugehen, dass Multimedia mehrere Sinneskanäle anspricht, kann eine „[m]ulticodierte und multimodale Präsentation [...] in besonderer Weise eine mentale Multicodierung des Lerngegenstandes durch den Lerner stimulieren. Dies verbessert

die Verfügbarkeit des Wissens.“ (ebd., S. 61) Dieser Erkenntnis zufolge unterstützt eine multimediale Präsentation nur in bestimmten Fällen den Kompetenzerwerb der Schülerinnen und Schüler. Der Einsatz von Bildern geht nicht zwangsläufig mit einer Erhöhung des Lernerfolges einher. Andererseits helfen multimedial aufbereitete Lernumgebungen gerade bei der Erkenntnisgewinnung komplexer Modelle (vgl. ebd., S. 61).

Mit Multicodierung und Multimodalität gelingt es besonders gut, komplexe und authentische Situationen realitätsnah zu präsentieren und den Lerngegenstand aus verschiedenen Perspektiven, in verschiedenen Kontexten und auf verschiedenen Abstraktionsniveaus darzustellen. Dies fördert Interesse am Gegenstand, flexibles Denken, die Entwicklung adäquater mentaler Modelle und anwendbares Wissen. (Weidenmann, 2002, S. 58)

Im Jahr 2006 formuliert Weidenmann (S. 427) basierend auf der Supplantationstheorie nach Salomon (1979) die drei wichtigsten Merkmale von Lernmedien folgendermaßen:

1. „das Symbolsystem, mit dem die Botschaft codiert wurde und in dem sie rezipiert wird,
2. die didaktische Struktur der Botschaft,
3. die Handlungsmöglichkeiten, die das Medium und das mediale Angebot eröffnen.“ (vgl. auch Hosenfeld 2012, S. 74)

Nach der Art der gewünschten Tätigkeit (zum Beispiel Lesen, Illustrationen betrachten oder das Bearbeiten einer Animation) wird ein passendes Symbolsystem „mit dem die Botschaft codiert wurde“ gewählt. Das Grundgerüst und seine Unterteilung sowie die Verbindung zu anderen Lernelementen stellt die didaktische Struktur des Multimediakonstrukts dar, welches von einem konsequent durchorganisierten Unterricht bis hin zur offenen Lernumgebung gewählt werden kann. Je nach Art des Mediums und nach Art der Usability hat der Lernende verschiedene Handlungsmöglichkeiten. Im multimedialen Kontext spricht man hier von Interaktivität, die es zum Beispiel erlaubt, an einer bestimmten Stelle in das multimediale Geschehen einzusteigen, das Medium als Lernwerkzeug einzusetzen, mit anderen Personen zu kommunizieren oder gezielt nach Informationen zu suchen (vgl. Weidenmann, 2006, S. 427f.).

Weidenmann (ebd., S. 428) spricht von der Einzigartigkeit des Lernmediums Computer, denn „[m]it dem Computer lassen sich alle üblichen Symbolsysteme präsentieren, die audiovisuelle Modalitäten ansprechen und eine hohe Interaktivität zwischen Angebot und Lernen herstellen. Kein anderes Medium bietet ein ähnlich breites Spektrum an Lernmöglichkeiten.“

Auch nach Büttner (2007, S. 4) ist „[d]er Computer [...] derzeit das leistungsfähigste Medium.“

Je nach didaktischem Einsatzgebiet kann der Computer nur aus monocodalen und monomodalen Elementen, also ohne jegliche Art von interaktiven Programmteilen bestehen. Außer einem „Weiter“-Button, der als Link fungiert und auf die nächste Seite navigiert, gibt es hier keine weiteren interaktiven Elemente (vgl. Weidenmann, 2006, S. 429). So ist auch ein reiner am Computer durchgeführter Test, der weder durch Grafiken, Musik oder andere Elemente aufbereitet ist, monocodal (vgl. Büttner, 2007, S. 4). Im Gegensatz dazu kann mit dem Medium Computer auch ein „attraktives multicodales und multimodales Angebot“ (Weidenmann, 2006, S. 429) mit zusätzlicher Internetanbindung erstellt werden. Medienpsychologisch fand in den 1970er Jahren ein Umdenken statt. Es erfolgte eine Abkehr von behavioristisch angehauchten Modellen. Der neue Schwerpunkt wurde „auf den Prozess des Denkens, des Problemlösens und des fixen Erwerbs“ gelegt. (Büttner, 2007, S. 4) Man wandte sich also von der „objektivistischen Perspektive des Behaviorismus“, die „in erster Linie `rote learning`, also Auswendiglernen“ bevorzugte, ab und legte nun den Fokus auf „das so genannte `bedeutungsvolle Lernen` der Kognitivisten.“ (ebd., S. 4f.)

Weidenmann führt als Beispiel einen Videoclip aus einer Lernsoftware, die die Entfaltung einer Blüte zeigt, an: In diesem Fall ist das Symbolsystem, also die Kodierung ikonisch. Einige Merkmale, wie Größenverhältnisse, Umrisse und Farben sind mit der Wirklichkeit kongruent. Allerdings wird die Zeitachse beschleunigt, die Blume blüht im Zeitraffer auf. Der Lernende muss nun die „medienspezifischen Veränderungen“ (Weidenmann, 2006, S. 429) wahrnehmen und inhaltsrichtig interpretieren. Als Gefahr sieht Weidenmann (ebd., S. 430) die inhaltliche oder formale Überforderung des Lernenden, „falls diese[r] Schwierigkeiten mit dem Symbolsystem, der Kodierung der Botschaft hat“. So kann eine vielfältige Kameraführung, die durch oftmaligen Wechsel von Nah- und Ferneinstellungen, Veränderung der Perspektive oder anderen Gegebenheiten zu Verständnisproblemen führen. Die

Supplantationstheorie meint die Überforderung des Lernenden, der nicht in der Lage ist, aus einem komplexen Bild ein lernrelevantes Detail zu extrahieren (vgl. auch Büttner, 2007, S. 6).

Nach Petri (2001, S. 7) fördern aber Animationen generell „das Begreifen dynamischer Abläufe“ und entlasten das Arbeitsgedächtnis. Allerdings sollten die Lerninhalte „mit kognitionspsychologisch fundierten Methoden strukturiert und dargeboten werden.“ Da eine Darstellung all dieser Methoden den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde, werden nur neuere Techniken in taxativer Weise erwähnt: der Advance Organizer (an das Vorwissen anknüpfen), Chunking (größere Einheiten bilden), Concept Mapping (Inhalte und Konzepte räumlich-graphisch darstellen und verknüpfen), Veranschaulichung durch Diagramme, Anregung von Vorstellungsbildern und die Nutzung von Vergleichen, Metaphern, Analogien und Gedächtnisstützen (vgl. ebd., S. 7). Petri (ebd., S. 3) stellt fest, dass zum Beispiel die Farbgestaltung und die Art der Bildschirmaufteilung wichtige Parameter für die Motivation sind. Dies geht sogar so weit, dass sich bildliche Darstellungen „nicht an reiner Verfügbarkeit und technischer Machbarkeit orientieren“ dürfen, sondern es muss auch auf andere Funktionen, wie zum Beispiel Motivation, Situierung und Visualisierung Rücksicht genommen werden. Nach Petri (ebd., S. 3) fördern interaktive Simulationen „Interesse und Motivation und unterstützen problemorientiertes und selbstgesteuertes Lernen.“

Simulationen mit hohem interaktivem Potenzial bieten große Chancen, Interesse und Motivation nachhaltig zu fördern, indem sie Eigenaktivität, problemorientiertes Arbeiten und Selbststeuerung erlauben und aktivierende Herausforderungen bieten. (Petri, 2001, S. 7)

Anders als bei interaktiven Simulationen verfliegt bei eintönigen Multiple-Choice-Aufgaben oder bei Lückentext, auch wenn dieser grafisch ansprechend gestaltet ist, der extrinsische Motivationseffekt sehr schnell, da die Aktionsfreiräume fehlen und es sich um ein aufgesetztes Szenario handelt (vgl. Petri, 2001, S. 10). Für die zukünftige Entwicklung von Multimedia-Produkten steht „[d]ie Berücksichtigung von Motivation und Einstellungen der NutzerInnen [im] [...] Mittelpunkt.“ (ebd., S. 12)

3.2.5 Internetnutzung im Physikunterricht

Für den Einsatz Neuer Medien und die Nutzung des Internets im Physikunterricht lieferte die Studie von Schröter und Erb (2006, S. 105ff.) wertvolle Ergebnisse. Diese Studie hatte das Ziel, „einen Überblick über den Einsatz des World Wide Web in Schule und Freizeit in Bezug zum Fach Physik zu erhalten sowie typische Verhaltensweisen bei der Internetnutzung durch Jugendliche der Sekundarstufe I in Verbindung mit deren Beweggründen, Absichten und Erwartungen zu identifizieren.“ (ebd., S. 105)

Die Untersuchung zeigte, dass im Physikunterricht der Sekundarstufe I das Internet kaum Bedeutung hatte. Nur 12,5% Prozent der Schülerinnen und Schüler gaben an, das Internet gelegentlich im Physikunterricht einzusetzen. Ebenfalls 12% der Befragten nutzten es, um physikalische Anliegen zu lösen. Jeder zehnte Jugendliche konnte zumindest eine Internetadresse nennen, die physikalische Lerninhalte als Inhalt aufwies.

Als Hauptgrund (90%) das Internet zu nutzen, gaben die Lernenden die Informationssuche mit Aussicht auf umfangreichen Erfolg an. „Mit dem Internet finde ich aktuelle Informationen, an die ich sonst nie herangekommen wäre“ (ebd., S. 110). Daneben nannten die Jugendlichen noch den Spaß an der Suche im Internet (69%) als wichtigen Grund der Nutzung.

Relevant für die gegenständliche Studie ist aber, dass die Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I bereits an dritter Stelle (61,2%) den „offensichtlich wahrnehmbaren Zuwachs an Leistung und Kompetenz“ als Grund für die Nutzung des Internets angaben. (ebd., S. 110) Mehr als 10% der Probandinnen und Probanden verwendeten das Internet gerne zur Aufnahme und Pflege von Kontakten. Während für Realschülerinnen und -schüler die Informationssuche im Mittelpunkt stand, war für Gymnasiastinnen und Gymnasiasten der empfundene Zuwachs an Leistung und Kompetenz ausschlaggebend.

Bei der rein domänenspezifischen²³ physikbezogenen Internetnutzung zeichnete sich allerdings ein anderes Bild ab. Hier gaben nur 34,4% der Befragten an, das Internet für Informationen zu nutzen. Aus anderen Motiven wurde das Internet fast nicht herangezogen.

Schröter und Erb (ebd., S. 110) kamen 2006 zu folgendem Schluss:

²³ gebietsspezifisch

Wenn Jugendliche überhaupt motiviert sind, im Internet mit Bezug zur Physik aktiv zu werden, dann vor allem deshalb, weil sie nach relevanten Informationen suchen.

Die entstandene Diskrepanz der sehr eingeschränkten Internetnutzung liegt daran, dass der Interneteinsatz nur „von einem (geringen) Teil der Lerner auch als nützliches Werkzeug erkannt (14,8%) [wird].“ (ebd., S. 110) Der soeben angesprochene geringe Anteil der Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I, der das Internet als nützliches Werkzeug erkennt, sucht gezielt nach Lernhilfen:

Sie wollen im Internet Simulationen, Modelle, Videos und Lösungsbeispiele nutzen, um Unterrichtsstoff in Physik besser verstehen zu können. (ebd., S. 110)

Die weitere Datenauswertung zeigte, dass 10,9% der Befragten, „eine deutliche Tendenz zur anwendungsorientierten Nutzung [hatte], was sich am Interesse an Naturphänomenen, Anleitungen für Experimente oder zum Bauen technischer Geräte und dem Interesse an neuen Forschungsergebnissen widerspiegelt[e]“. (ebd., S. 112) Die Untersuchung zeigte außerdem, dass Handlungen im Internet nur dann stattfinden, wenn ein Bezug zur Physik vorlag, wobei praxisrelevante Inhalte im Vordergrund standen.

Um das Internet und alle dazugehörigen Neuen Medien den Schülerinnen und Schülern schmackhaft zu machen, muss die Sinnhaftigkeit in den Vordergrund gestellt werden.

Diese Affinität zum Unterricht sollte genutzt werden, um den Jugendlichen zu verdeutlichen, unter welchen Gesichtspunkten das Internet über seine Funktion als Informationsquelle hinaus sinnvoll fachspezifisch eingesetzt werden kann. Quellen für Simulationen, Modelle, interaktive Bildschirmexperimente oder physikalische Aufgaben erschließt das Gros der Lerner nicht selbstständig im Internet. Im Physikunterricht muss deren Nutzen erprobt und ein zielorientierter, eigenverantwortlicher Umgang eingeübt werden. (ebd., S. 115)

Schröter und Erb (2006, S. 115) sprechen von einem Muss, internetfähige Anwendungen in den Unterricht miteinzubeziehen. Der Nutzen von interaktiven Simulationen und Modellen für den Physikunterricht soll den Lernenden im Unterricht nahegebracht werden.

Dabei wird die Motivation gezielt durch „Wahrnehmen von Leistung und Kompetenz verbunden mit Spaß am Lernen“ angesprochen. Die „eigene Kompetenz [wird] dadurch spürbar [gemacht], dass dem Lerner zum selbstständigen Lösen kognitiv anspruchsvoller Aufgabenstellungen voneinander unabhängige Denkanstöße zur Verfügung stehen“. (ebd., S. 115)

Auch Meinung des Autors der vorliegenden Arbeit bieten pädagogisch überlegte virtuelle Versuche genau die geforderten Möglichkeiten. So kann ein Versuch individuell überlegt und selbstständig durchgeführt werden. Ebenso kann durch erfolgreichen Abschluss Kompetenz erfahren werden.

3.3 Interaktivität

Die Begriffe Interaktion und Interaktivität leiten sich von den lateinischen Begriffen „inter“ (= zwischen) und „agere“ (= handeln) ab. Es kommt dabei immer zu einer wechselseitigen „Einflussnahme von Individuen, Gruppen, sozialen Gefügen oder Medien.“ (Zumbach, 2010, S. 45)

Die Interaktion zwischen Lehrenden und Lernenden ist ein treibendes Element des Lernens: Durch Informationsvermittlung und Rückmeldung entsteht ein Lernprozess, der dialogisch sowohl die Lernenden als auch die Lehrenden informiert und motiviert. (Zumbach, 2010, S. 45;)

Interaktion findet bei jeder Form der Kommunikation statt und ist somit nicht an Präsenzveranstaltungen gebunden. Im deutschen Sprachgebrauch hat sich der Begriff Interaktion bei zwischenmenschlicher Kommunikation durchgesetzt.

Als „Interaktion“ bezeichnen wir aus sozialwissenschaftlicher Perspektive das wechselseitig handelnde aufeinander Hinwirken zweier Subjekte. (Niegemann, 2011, S. 126)

Interaktivität hingegen meint den Umgang mit Programmen und anderen Lernmedien (vgl. Zumbach, 2010, S. 45; Niegemann, 2011, S. 126).

Mit dem Begriff der Interaktivität wird dagegen weniger der soziale Austausch, sondern primär der Umgang der Lernenden mit (Instruktions-)Medien umschrieben. (Zumbach, 2010, S. 45)

Der englische Fachbegriff „interaction“ wird hingegen für beide Begriffe synonym verwendet (vgl. ebd., S. 45).

Nach Zumbach (ebd., S. 53) ist Motivation eine Grundlage, um Lernen zu initiieren. Dabei ist es weder entscheidend, ob extrinsische oder intrinsische Motivation, noch ob fremdbestimmtes oder selbstgesteuertes Lernen vorherrscht. Zumbachs Forschungen belegen, dass durch interaktive Anwendungen intrinsische Motivation besonders gefördert werden kann.

Interaktivität kann einen wesentlichen Beitrag zur Förderung und den Erhalt von Motivation leisten, wobei hier in erster Linie an die intrinsische Motivation adressiert wird [...] (ebd., S. 53)

Gleichsam merkt Zumbach (vgl. ebd., S. 46) aber auch kritisch an, dass die Medienauswahl, die eine Person trifft, für Lernende immer Beschränkungen mit sich bringt und es daher sowohl zu Einschränkungen für den Lernerfolg (vgl. ebd., S. 46), als auch zu einem Motivationsabfall kommen kann (vgl. ebd., S. 53).

Interaktive Programme haben nur dann positive Auswirkungen auf die intrinsische Motivation, wenn

- die Lernenden eine adäquate Herausforderung meistern müssen und durch aktive Problembewältigung individuelle Lösungen finden. Die Herausforderungen müssen dabei eng mit den persönlichen Zielen verquickt sein.
- Neugierde geweckt wird und durch interaktive, explorative Lernumgebungen forschendes Lernen ermöglicht wird. Neugierde tritt bei Kontakt mit Unbekanntem auf, „das in Konflikt zu den eigenen Erwartungen und kognitiven Strukturen steht.“ (ebd., S. 54) Aktives, exploratives Lernen fördert Neugier, während Lernende, die sich in einer passiven Position befinden, weniger Neugier entwickeln können.

- die Lernenden in ihrer Entscheidungsfreiheit über den Lernfortschritt selbst bestimmen können. Wird von der Software die Kontrolle über das Lernen übernommen, geht die Interaktivität und somit auch die Selbstbestimmung verloren (vgl. ebd., S. 53f.).

Für Zumbach (ebd., S. 55) ist es pädagogische Notwendigkeit, dass interaktive Lernumgebungen nach konstruktivistischen Prinzipien aufbereitet sind. Um das Wissen eigenständig konstruieren zu können, ist wiederum ein hohes Maß an Interaktivität erforderlich. Die Möglichkeit, Wissen nicht einfach nur zu rezipieren, sondern selbst aktiv zu konstruieren, ist zusätzlich mit einem Motivationsanstieg beim Lernenden verflochten, der sich wiederum positiv auf kognitive Leistungen auswirkt.

Neben den motivationalen Effekten dieser Lernform sind natürlich auch kognitive Auswirkungen unterschiedlicher Interaktivitätsgrade untrennbar miteinander verbunden. (ebd., S. 55)

Zumbach betont (ebd., S. 58f.), dass interaktive Programme im Idealfall auf das Lernverhalten des Lernenden reagieren und dadurch ganz neue, individuelle Handlungsmöglichkeiten bieten.

Computerprogramme sind in der Lage, Eingaben der Nutzenden mittels standardisierter Verfahren (Algorithmen) zu verarbeiten und angepasste Reaktionen zu erzeugen. Der Eindruck von Interaktivität entsteht dann, wenn die Rückmeldung des Computers auf menschliche Eingaben als sinnvoll erlebt wird. (Jürgens & Petko, 2014, S. 114f.)

Ähnlich sind auch für Niegemann (2011, S. 128) Interaktionen zu bevorzugen, die in Form von unterschiedlichen Darstellungen und alternativen Erklärungen vielfache Varianten bieten, das eigene Verstehen zu fördern.

Der Fokus eines interaktiven Lernangebots „liegt darin, ein selbstgesteuertes, aktives sowie zumeist exploratives Lernen zu fördern.“ (Zumbach, 2010, S. 128) Für Zumbach ist der Idealfall erreicht, wenn für den Lernenden der Informationsraum frei gestaltbar ist und auf individuelle Erfordernisse angepasst werden kann. Ein aktiver Lernstil, der zum Beispiel bei interaktiven Simulationen gefördert wird, ist zu bevorzugen. Hohe

Interaktivität wirkt sich positiv auf „die Förderung und den Erhalt der intrinsischen Motivation“ aus. (ebd., S. 59)

3.4 Computereinsatz in der Schule

Berger (2006, S. 157) beschreibt, dass der Gebrauch des Computers für die heutigen Jugendlichen nicht mehr wegzudenken ist. Allerdings ist der Einsatz sehr oft auf Office-Programme und Software für persönliche Präferenzen (zum Beispiel Bildbearbeitungsprogramme, Surfen...) beschränkt. Basierend auf diesem Vorwissen bietet sich für den Einsatz des Computers in der Schule eine Vielzahl von Möglichkeiten (vgl. Berger, 2006, S. 157):

- Informations- und Kommunikationsmittel
- Speichermedium
- Einsatz als Messgerät
- Auswertungen und Berechnungen
- Präsentationen und Visualisierungen
- Interaktive Lernumgebungen
- Modellbildungen und Simulationen
- Durchführung von virtuellen Versuchen (Anmerkung des Autors)

Berger (ebd., S. 158) führt auch klar an, dass der Einsatz des Computers nach didaktischen und methodischen Überlegungen in der Sekundarstufe I gerechtfertigt ist. Eine Gegenüberstellung von Vor- und Nachteilen zeigt Folgendes: Zeitaufwendige Experimente werden oft mittels Automatisierungen (zum Beispiel des Messprozesses) abgekürzt, wodurch der Lernende an den Planungen des Experimentes nur mehr im geringen Umfang teilhaben kann. Dadurch reduziert sich wiederum die didaktische Freiheit. Den sehr guten quantitativen Erfassungsmöglichkeiten stellt Berger eine „Überschattung der eigentlichen Experimentieranordnung“ gegenüber. Nach Berger (ebd., S. 158) gewinnen diese Systeme durch die steigende Verfügbarkeit von Computern im Physikunterricht an Bedeutung. Allerdings wird auch erwähnt, dass diese neue Technik nicht in jedem Falle umzusetzen ist, sondern nur, wenn sie dem Lernenden auch wirklich dient.

Bedeutsam für die vorliegende Arbeit ist, dass der Einsatz von aktuellen Medien, wie zu Beispiel eines Computers, zur Durchführung physikalischer Versuche von den Schülerinnen und Schülern als innovativ empfunden wird und damit motivationsfördernd wirkt (vgl. Rath, 1995, S. 10).

Ein neues, aktuelles Medium bringt neue Motivation für Schüler im Physik-Unterricht. Oder, umgekehrt formuliert: Etwas, das in der heutigen Zeit noch ohne Computer [gestaltet wird], wirkt alt, verstaubt, langweilig. (ebd., S. 10)

Rath (S. 10f.) sieht bereits 1995 weitere Vorteile beim Einsatz des Computers im Physikunterricht. So kann zum Beispiel die Schwingung eines Pendels direkt mit einer Sinuskurve in Verbindung gebracht werden. Außerdem stellt der Umgang mit dem Computer in der heutigen Zeit eine Grundfertigkeit dar und darf von der Schule nicht einfach ignoriert werden. Auch in der Forschungspraxis ist der Computer ein unverzichtbarer Bestandteil von Versuchsanordnungen geworden.

Physikunterricht ohne Computer lehrt die Physik vor unserer Zeit, Museums-Physik. (Rath 1995, S. 10)

3.5 E-Learning

Nach Kraiger (2009, S. 15) kann für den Begriff E-Learning (electronic Learning) keine eindeutige Definition gefunden werden. Vielmehr besteht bereits eine Fülle von Definitionen rund um das elektronische Lernen. Kraiger (ebd., S. 15) sieht im E-Learning einen Überbegriff für das webbasierte Lernen (WBT), das computerbasierte Lernen (CBT) und das virtuelle Lernen.

Da sich seit den 1990er Jahren das Internet mit enormer Geschwindigkeit verbreitet hat, müssen die soeben genannten Teilbereiche von E-Learning ständig erweitert werden. Eine vollständige Beschreibung kann es nicht geben und somit auch keine umfassende Definition für E-Learning (vgl. ebd., S. 15).

Baumgartner, Häfele & Häfele (2002, S. 4) berücksichtigen die zeitliche Komponente in ihrer Definition:

Die Bedeutung des Begriffs „e-Learning“ war zu Beginn seines Auftretens stärker auf das elektronisch unterstützte Lernen (satellitengestütztes Lernen, Lernen per interaktivem TV, CD-ROM, Videobänder etc.) konzentriert. Im Zuge des Internet-Hype der ausgehenden 90er Jahre wurde e-Learning hauptsächlich für das „netzangebundene“ Lernen (sogenanntes „webunterstütztes“ Lernen) verwendet, etabliert sich jedoch zusehends wieder als Überbegriff für alle Arten medienunterstützten Lernens. E-Learning schließt also heute sowohl Lernen mit lokal installierter Software (Lernprogramme, CD-ROM) als auch Lernen über das Internet ein. (Baumgartner, Häfele & Häfele, 2002, S. 4)

Dieser Definition nach erfordert E-Learning nicht zwangsläufig eine Internettechnologie.

Arnold et al. (2013, S. 18) definieren E-Learning als Überbegriff für eine Vielfalt von elektronischen Lernmöglichkeiten:

Mit dem Begriff „E-Learning“ wird ein vielgestaltiges gegenständliches und organisatorisches Arrangement von elektronischen bzw. digitalen Medien zum Lernen, virtuellen Lernräumen und „Blended Learning“ bezeichnet. (Arnold et al., 2013, S. 18)

Es spielt dabei keine Rolle, ob die elektronischen Mittel individuell oder zum gemeinsamen Lernen genutzt werden. Gemeinsame Kennzeichen sind die multimediale Darstellung und die Möglichkeit der interaktiven Bearbeitung zur Unterstützung von selbst gesteuertem Lernen. Es ist dabei nicht von Relevanz, ob der Lernende „asynchron oder synchron kommuniziert und kooperativ oder partizipativ“ am Lerngeschehen teilnimmt (vgl. Arnold et al., 2013, S. 18).²⁴

Arnold et al. (ebd., S. 18f.) werfen auf, dass die Begriffe E-Teaching (Electronic Teaching) und Computer Assisted Teaching (computerunterstütztes Lehren) oftmals synonym zu E-Learning verwendet werden. Sie erklären allerdings, dass beim E-Teaching die Zielperson konkret im Vordergrund steht, denn hier werden – wie in

²⁴ Von asynchroner Kommunikation spricht man dann, wenn eine Senderin oder ein Sender zu einem anderen Zeitpunkt Informationen zur Verfügung stellt, als sie von einer Adressatin oder einem Adressaten empfangen werden (vgl. Mangold, Vorderer & Bente, 2004, S. 675f.).

jeder klassischen Unterrichtsform auch – Lehrhandlungen gezielt geplant und nach pädagogischen Grundsätzen umgesetzt. Danach werden die Inhalte für eine Lehrveranstaltung gezielt „multimedial und interaktiv elektronisch objektiviert.“ (ebd., S. 19) Der Lernende nimmt also an dieser Form des Unterrichts teil, um Kompetenzen zu erwerben, allerdings mit dem Unterschied, dass diese „elektronisch vermittelt werden sollen“. (ebd., S. 19)

Während beim E-Learning „das Arrangement digitaler Lernmedien und virtueller Lernräume“ im Vordergrund steht, nimmt der Lernende beim E-Teaching nur an Lehrveranstaltungen in elektronischer Form teil.

Petz (2010, S. 1) stellt leider fest, dass sich E-Learning an deutschen Hochschulen in den Naturwissenschaften noch längst nicht etabliert hat. Gleichzeitig hält er auf Grund der Verwendung von Modellen, Bildern und Grafiken gerade diese Wissenschaften besonders dafür geeignet, E-Learning zu forcieren. Durch den Einsatz von E-Learning lässt sich eine „solide Wissensbasis“ schaffen, da komplexe Vorgänge visuell aufbereitet leichter erfasst werden können. Einen besonderen Vorteil des E-Learnings im naturwissenschaftlichen Bereich sieht Petz bei der Durchführung von Simulationen, um einerseits ablaufende Prozesse zu erlernen und andererseits Experimente zu üben (vgl. ebd., S. 1).

Somit erscheinen doch gerade die naturwissenschaftlichen Inhalte besonders prädestiniert für den Einsatz von digitalen und virtuellen Methoden zur Unterstützung von Forschung und Lehre. eLearning kann so zum Zugewinn für diesen klassischen Wissenschaftsbereich werden. (Petz, 2010, S. 1)

3.6 Online-Labore

Für deutsche Schülerinnen und Schüler gab es im Jahr 2010 die Möglichkeit, eines von 300 Schülerinnen- und Schülerlaboren zu besuchen. Oftmals ist der Besuch eines solchen mit einem Interessensanstieg und einer Motivationssteigerung verbunden (vgl. Karaböcek & Erb, 2010, S. 84). Auch Weißnigk und Euler (2011, S. 83) bestätigen, dass „sich Schülerlabore als wichtige Komponente außerschulischen Lernens etabliert“ haben. Schülerlabore können das Image vom Fachgebiet Physik steigern,

da sie den Brückenschlag zur Wissenschaft Physik ermöglichen (vgl. Weißnigk & Euler, 2011, S. 84).

Dabei ist das Image von Physik als Wissenschaft positiver besetzt als das Image von Physik als Unterrichtsfach. (Weißnigk & Euler, 2011, S. 84)

Bereits im Jahr 1980 schrieb Solomon (S. 13), dass der Unterricht von Lernenden in einem Labor stattfinden sollte, da dies der wissenschaftlichen Praxis entsprechen würde.

Science teaching must take place in the laboratory; about that at least there is no controversy. [...] Science simply belongs there as naturally as cooking belongs in the kitchen and gardening in the garden. (Solomon, 1980, S. 13)

Weißnigk und Euler (2011, S. 84) konnten in ihrer empirischen Studie zeigen, „dass das Image von Physik als Wissenschaft über drei Monate nach dem Laborbesuch stabil bleibt“, während das im Unterrichtsfach Physik entstandene Image nach drei Monaten wieder auf Ausgangsniveau zurückkehrt.

Die Carl von Ossietzky Universität Oldenburg verfolgt mit ihren Schülerinnen- und Schülerlaboren drei wichtige Ziele:

1. Bereits in der Sekundarstufe I fördern diese Labore die naturwissenschaftlich-technische und informatische Kompetenz. Mehrmalige Besuche sollen ein nachhaltiges Lernen ermöglichen (vgl. Komorek, 2011, S. 128f.).
2. Studentinnen und Studenten haben durch dieses Labor die Möglichkeit, sehr früh Kontakt zu den Lernenden der Grundschule und der Sekundarstufe I aufzunehmen und durch „das Beobachten von Lernprozessen, Lernschwierigkeiten und -chancen [...] die Qualität der Ausbildung“ zu steigern. (Komorek, 2011, S. 129.)
3. Die Schülerlabore bilden auch Basis für Bachelor-, Master- und Doktorarbeiten, da hier gezielt Lehr-Lern-Prozesse untersucht werden können.

Nach Pester und Auer (2013, S. 4) ist „[d]ie Notwendigkeit einer Laborausbildung [...] inzwischen allgemein bekannt.“ Die Gründe dafür sind „besseres Verständnis für wissenschaftliche Konzepte, eine Motivationssteigerung [...] [und] der Erwerb praktischer Fähigkeiten [...]“ (ebd., S. 4)

Es gibt aber auch viele Versuchsaufbauten, die derart komplex wären, dass sie „für den Lernenden schwer nachvollziehbar [wären] und [eine] Simulation [die] Modellbildung gegebenenfalls besser unterstütz[en]“ würde. (ebd., S. 4) Auch wenn für ein Experiment mit unverhältnismäßig hohen Kosten zu rechnen wäre, wird bewusst auf reale Durchführung verzichtet (vgl. ebd., S. 4).

Abhilfe können hier Online-Labore schaffen, diese bieten die Möglichkeit Laboruntersuchungen virtuell im Internet durchzuführen (vgl. ebd., S. 4).

Nach Scherp (2001, S. 10) kann für den Begriff des virtuellen Labors in der Literatur keine einheitliche Erklärung gefunden werden und es existieren „mehrere voneinander abweichende und widersprüchliche Definitionen“. Für Scherp ist ein virtuelles Labor „die multimediale Nachbildung eines realen Labors im Rechner.“ (ebd., S. 11) Sämtliche Laborgeräte, Zubehör, Substanzen, Arbeitsflächen und Räume werden virtuell zur Verfügung gestellt. Der Einsatzbereich virtueller Labore erstreckt sich von den klassischen naturwissenschaftlichen Fachgebieten bis hin zu interdisziplinären Spezialgebieten (vgl. ebd., S. 11).

In ähnlicher Form definiert Bräunig (2006, S. 14) den Begriff „virtuell“ in Bezug auf die Informations- und Kommunikationstechnologie, bei der „ursprünglich physikalische Komponenten und Umgebungen [...] durch Software nachgebildet werden.“ Virtuelle Geräte wie zum Beispiel ein Oszilloskop können in einem virtuellen Labor eingesetzt werden. Für die Schülerinnen und Schüler werden Lehrinhalte didaktisch aufbereitet und virtuell zur Verfügung gestellt (vgl. ebd., S. 14f.).

Eine für diese Arbeit passende Definition wurde von Pester und Auer (2011, S. 4) aufgestellt.

Online-Labore sind wissenschaftliche Einrichtungen, mit denen mit Hilfe von Web- und Informationstechnologien Laboruntersuchungen durchgeführt werden können. (Pester & Auer, 2011, S. 4)

Nach Pester und Auer (2013, S. 2ff.) muss zwischen zwei Arten von Online-Laboren unterschieden werden:

Im ersten Fall handelt es sich um ein virtuelles Labor, in dem Simulationen durchgeführt werden können. Diese Versuche laufen ausschließlich in einer softwarebasierten Umgebung ab.

The other kind of online labs are virtual labs. They offer the opportunity to simulate real equipment and experiments. (Global Online Science Labs for Inquiry Learning at School, 2016, o. S., online)

Im zweiten Fall ist ein „Remote-Labor“ (Pester & Auer, 2013, S. 7) oder „Remotely Controlled Laboratory“ (RCL) gemeint. (Thoms & Girwidz, 2012, S. 113) Hier besteht die Möglichkeit, auf ein real vorhandenes Labor mittels Internettechnologien zuzugreifen (vgl. Pester & Auer, 2013, S. 2ff.).

Remote labs can be used by the students to gather data from real physical laboratory setup, including real equipment, from remote locations. (Global Online Science Labs for Inquiry Learning at School, 2016, o. S., online)

Gleich der soeben genannten Definition findet sich am Landesbildungsserver Baden-Württemberg die Erklärung, dass RCL-Experimente die Möglichkeit bieten, per Internet auf ein anderes Labor zuzugreifen und Versuche ferngesteuert durchzuführen. In Forschungsinstituten oder im industriellen Einsatz sind diese Methoden gängige Praxis, für die Schule sind sie allerdings in vielen Fällen nicht zugänglich. Inzwischen gibt es aber einige Labore, die für physikalische Schulversuche, gesteuert über das Internet oder nur zur Beobachtung, freigegeben sind. Bei dieser Art des Versuchs handelt es sich um ein Realexperiment und um keinen virtuellen Versuch oder Simulation. Ähnlich wie bei den virtuellen Versuchen können auch hier Experimente, die in der Schule aus Kostengründen nicht durchführbar wären oder bei denen der Aufbauaufwand in keinem Verhältnis zur nötigen Zeit stehen würde, ermöglicht werden. Außerdem besteht hier die Möglichkeit, dass die Schülerinnen und Schüler die Experimente zu Hause nochmals wiederholen (vgl. Landesbildungsserver Baden-Württemberg, 2015, o. S., online). „Dies ist insbesondere ein Vorteil für Schüler, die krank gewesen sind, als das Experiment in der Schule gezeigt wurde.“ (Landesbildungsserver Baden-Württemberg, 2015, o. S., online)

Nach Thoms & Girwidz (2012, S. 113) sind „Remotely Controlled Laboratories“ eine nutzbringende Erweiterung „zu Realexperimenten, interaktiven Bildschirmexperimenten, Animationen und Simulationen, wenn

- der Aufbau besonders schwierig, langwierig oder teuer ist,
- die Durchführung besondere Gefahren birgt,

Theoretische Grundlagen

- die Anzahl veränderlicher Parameter so groß ist, dass ein Versuch nicht als interaktives Bildschirmexperiment umgesetzt werden kann,
- die Durchführung besondere Hilfestellungen erfordert.“

In der folgenden Tabelle sollen die wesentlichen Charakteristika von virtuellen Laboren und Remote Laboren nochmals gegenübergestellt werden.

Virtuelles Labor	Remote-Labor
Experimente werden von Software simuliert.	Experimente werden an realer Hardware ferngesteuert durchgeführt.
Der Nutzer kann zu jeder Zeit von jedem beliebigen Netzzugang auf die Experimente zugreifen.	Die Nutzerin / der Nutzer kann nach vereinbarter Zugriffszeit auf das Experiment von jedem beliebigen Netzzugang zugreifen.
Erfahrungen werden anhand von Simulationen vermittelt.	Es werden labornahe Erfahrungen vermittelt.
Virtuelle Labore sind i.d.R. flexibler, kostengünstiger und leichter zu warten.	Zugriff auf teure z.T. hochspezialisierte Geräte und Software wird institutsübergreifend ermöglicht.

Tabelle 3: Gegenüberstellung virtuelles Labor Remote Labor (Bräunig, 2006, S. 15)

Von zunehmender Bedeutung sind Mischformen aus Online- und realen Laboren. So werden Versuche vorerst virtuell und erst danach praktisch durchgeführt. Bisher sind im Bildungsbereich für den tertiären Bildungsweg die meisten virtuellen Versuche entwickelt worden. Für den Ingenieursbereich gibt es die meisten Möglichkeiten, Online-Labore zu nutzen (vgl. Pester & Auer, 2011, S. 3).

Auch in den Naturwissenschaften werden Online-Labore gerne genutzt. „Besonders hervorzuheben sind hier Experimente in der Physik [...], denn auch hier gibt es eine Vielzahl von Möglichkeiten sehr teure Geräte softwaremäßig zu ersetzen oder über Remotesitzungen gemeinsame Ressourcen zu nutzen.“ (ebd., S. 3)

Leal, Leal und Fernandes (2015, S. 1ff.) konnten belegen, dass auch Onlineversuche – ähnlich realer Laborversuche – positive Auswirkungen auf die Interessenslage und die Motivation von Lernenden haben (vgl. auch Karaböcek & Erb, 2010, S. 84; Weßnigk und Euler, 2011, S. 83; Pester & Auer, 2011, S. 4). Die genannten Autoren zeigen, dass sich der Online-Versuch zum Gesetz nach Boyle-Mariotte günstig auf die Beständigkeit der Motivation der Schülerinnen und Schüler auswirkt:

The [online-lab] is an e-learning platform to support teaching and learning of Physics and Chemistry that has been tested in the classroom and has proven to be an important tool in stimulating students to scientific subjects, holding their attention and increasing their motivation and interest in science contents. [...] The pilot study previously done brings positive feedback and increasment in motivation and interest in science subjects by students. (Leal et al., 2015, S. 1)

Besonders interessant ist auch, dass Leal et al. (2015, S. 4; vgl. Kapitel 3.14) auf Studien Bezug nehmen, aus denen hervorgeht, dass unter den Probandinnen und Probanden immer wieder unmotivierte und uninteressierte Schülerinnen und Schüler anzutreffen waren. Dieser Mangel an Interesse war aber immer wieder auf unzureichende Unterrichtsmethoden zurückzuführen. Moderne Unterrichtsformen wie Online-Labore, Blended Learning Arrangements könnten eine Lösung dieses Problems sein:

Several studies [...] report that students and teachers of pre-university educational level are unmotivated and uninterested in scientific subjects. The reasons for this seem to be inadequate methodologies. The results obtained in the classroom with e-lab b-learning platform imply that e-lab (didactic interactive multimedia environment) could be part of the solution and has two great valences in it: technology and laboratorial work. (Leal et al., 2015, S. 4)

Pester und Auer (2011, S. 3f.) geben zu bedenken, dass der Ersatz realer Labore ohne pädagogische Überlegungen aus didaktischer Sicht unzulänglich wäre. Die ausschließliche Durchführung von virtuellen Versuchen in Online-Laboren ist in bestimmten Bereichen absolut kontraproduktiv. So könnten viele Kompetenzen, wie zum Beispiel der Aufbau von realen Schaltungen gar nicht mehr erlernt werden. Aus didaktischer Sichtweise unterliegt das Online-Labor genauso den Gesetzen der handlungsorientierten Lerntheorie, allerdings kann hier auf kollaboratives und selbstgeleitetes Lernen verstärkt fokussiert werden. Die Durchführung wird über eine „grafische Oberfläche in einem üblichen Webbrowser“ ermöglicht (vgl. ebd., S. 7).

Eine Möglichkeit, den Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I Zugang zu virtuellen Versuchen zu ermöglichen, ist das Projekt Go-Lab.²⁵ Go-Lab (© Go-Lab Project – Global Online Science Labs for Inquiry Learning at School) ist ein Gemeinschaftsprojekt der Europäischen Kommission²⁶ und ermöglicht den Zugang zu Online-Laboren. Außerdem können Unterrichtserfahrungen sowie die Ergebnisse der Lernaktivitäten ausgetauscht werden. So entsteht ein soziales Netzwerk zwischen den Lehrerinnen und Lehrern. Das übergeordnete Ziel ist die Möglichkeit für Studentinnen und Studenten sowie für Schülerinnen und Schüler, praktische Erfahrungen in der Wissenschaft mit Hilfe der Durchführung von Onlineexperimenten zu erlangen. Go-Lab schafft also unter Berücksichtigung pädagogischer und methodischer Aspekte die Rahmenbedingungen, mit anderen renommierten Forschungsorganisationen in Kontakt zu treten oder deren Labore zu nutzen sowie an deren Workshops, virtuellen Experimenten und Remote-Laboren teilhaben zu können (vgl. Global Online Science Labs for Inquiry Learning at School, 2016, o. S., online).

3.7 Simulationsbegriff

Nach Bungartz, Zimmer, Buchholz, und Pflüger (2013, S. 1) ist die Begriffsdeutung von „Simulation“ nicht eindeutig. Auch Eilks et al. kamen bereits 2004 (S. 2) zu derselben Feststellung:

Die Begriffe Simulation und Lernprogramm [...] werden in der Literatur nicht einheitlich benutzt.

Bungartz et al. (2013, S. 1) verstehen „unter Simulation [...] den Gesamtkomplex der Vorausberechnung oder des Nachstellens eines bestimmten Szenarios.“

Diese Definition deckt sich im Wesentlichen mit jener von Kircher et al. (2015, S. 403):

Simulationen sollen ausgewählte Realitätsaspekte rekonstruieren.

Der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) definiert in der Richtlinie 3633 „Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen“ die Simulation als:

²⁵ Der Autor der vorliegenden Arbeit ist mit seinen Schulklassen bei Go-Lab aktiv.

²⁶ Co-funded by the European Union (Seventh Framework Programme). Grant Agreement no. 317601.

Nachbildung eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierfähigen Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind. (VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V., 2016, o. S., online)

Nach Meder (1995, S. 50) ist „[e]ine Simulation [...] die Übertragung eines Bedeutungszusammenhangs aus einer Objektdarstellung in eine andere, die es erlaubt, manipulierend in den Darstellungsverlauf einzugreifen.“

Schweickert, Christian, Roth und Jodl (2001, S. 18) definieren Simulationsprogramme im Hinblick auf die physikalische Forschung als mathematisch-theoretische Modelle, die physikalische Objekte bildlich darstellen. Durch die Interaktivität von Simulationen wird ein „handlungsorientierter Zugang zu physikalischen Vorstellungen“ ermöglicht. (ebd., S. 18) Die Qualität eines Simulationsprogrammes hängt davon ab, „wie exakt [es] Theorie darstellt, und [richtet sich] zunächst nicht nach der Übereinstimmung des Dargestellten mit der Natur“. (ebd., S. 18) Nach anfänglich schwierig zu bedienenden Programmen gibt es inzwischen hypermediale Lehrmaterialien, bei denen die Schülerinnen und Schüler keine oder nur sehr wenig Einarbeitungszeit benötigen. Zur Umsetzung einer Simulation bedarf es nach Bungartz et al. (2013, S. 2f.) einer Simulationspipeline (vgl. auch Günther & Velten, 2014, S. 6). Diese besteht aus mehreren Schritten und ist als komplexer Prozess zu verstehen, wobei einzelne Schritte immer wieder in einer Art Feedbacksystem durchlaufen werden müssen.

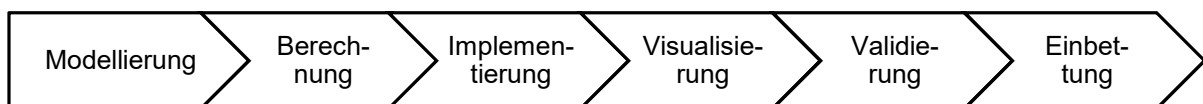


Abbildung 15: Simulationspipeline nach Bungartz et al.

- Modellierung: Am Beginn jeder Simulation wird ein Modell konstruiert, das den gewünschten Ausschnitt des Betrachtungsgegenstands beschreibt.
- Berechnung: Das Modell wird nun durch mathematische Grundstrukturen (Algorithmen) abgebildet.
- Implementierung: Passende Software muss entworfen und in die Zielarchitektur implementiert werden.
- Visualisierung: Das erhaltene Zahlenmaterial wird interpretiert und verwertet.
- Validierung: Die Ergebnisse werden auf ihre Verlässlichkeit überprüft.

- Einbettung: Simulationen müssen nach ihrem Kontext passend – zum Beispiel durch speziell abgestimmtes Software-Engineering – in ein bestehendes System integriert werden.

Auch wenn Perros (2009, S. 1) nicht von der Simulationspipeline spricht, ist sein Modell sehr ähnlich aufgebaut. Perros geht von einem fünfgliedrigen Modell aus:

1. Problem formulation
2. Construction of the model
3. Model validation
4. Using the model, evaluate various available alternatives (solution)
5. Implementation and maintenance of the solution

Für die Anwendung am Computer wurde dieses Modell von Perros (ebd., S. 4) noch verfeinert. Auch dieses Modell muss in jedem neuen Schritt überdacht und getestet werden, erst dann kann zum nächsten Schritt übergegangen werden.

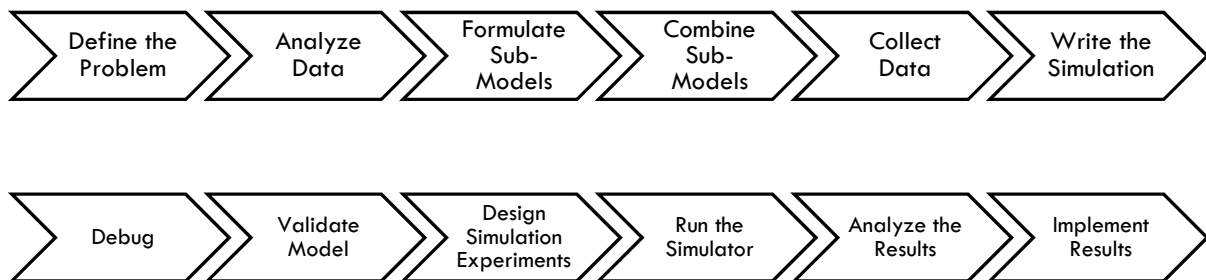


Abbildung 16: Simulationspipeline nach Perros

Allerdings ist der Simulationsbegriff nicht zwingend an computertechnologische Verfahren geknüpft (vgl. Hedtstück, 2013, S. 3).

Simulation ist ein Verfahren, bei dem für ein reales oder imaginäres System ein Modell erstellt wird, das experimentell untersucht werden kann mit dem Ziel, neue Erkenntnisse über das System zu gewinnen und daraus Handlungsanweisungen abzuleiten. (ebd., S. 3)

Nach Günther und Velten (2014, S. 8) stammt der Terminus „Simulation“ vom lateinischen Wort „simulare“ ab und kann mit „nachahmen, vortäuschen oder sich etwas vorstellen“ übersetzt werden. Simulationen sind also modellhafte

Nachbildungen von realen Systemen „mit dem Ziel, Probleme zu lösen oder Einsichten zu gewinnen, die sich auf diese[] System[e] beziehen. (ebd., S. 8)

Unter dem Begriff System versteht Hedtstück (2013, S. 3) einen abgegrenzten Bereich, wobei die Eigenschaften der einzelnen Elemente voneinander abhängig sein können.

Virtuelle Versuche oder Simulationen, die in dieser Studie zur Überprüfung des Motivationsgrades von Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I herangezogen werden, unterliegen mathematischen Modellen (vgl. Fleissner, 2010, S. 32). Auch nach Röß (2011, S. 1) sind für physikalische Simulationsdateien mathematische Methoden notwendig. Mit Hilfe von Berechnungen werden physikalische Zusammenhänge visualisiert und interaktiv simuliert. Vermutete Zusammenhänge werden in Form von Hypothesen festgehalten und mit Messergebnissen bzw. Experimenten abgeglichen und verifiziert. Aus diesen Ergebnissen können physikalische Theorien abgeleitet werden (vgl. Röß, 2011, S. 9).

Theorien sind bewährte Hypothesen für Zusammenhänge im Naturverhalten, formuliert in der Sprache der Mathematik. (Röß, 2011, S. 9)

Vergegenständlichungen dieser mathematischen Modelle werden über einen Computerbildschirm dargestellt (vgl. Fleissner, 2010, S. 32). Die Mathematik dient der Physik als mächtiges Werkzeug (vgl. Röß, 2011, S. 10).

Günther und Velten (2014, S. 13) erklären, dass es unzureichend wäre „[e]in mathematisches Modell [als] eine Menge von mathematischen Aussagen $M = \{\Sigma_1, \Sigma_2, \dots, \Sigma_n\}$ zu definieren [...], denn es fehlt eine Verbindung zu einem System und der Bezug zu einer Fragestellung betreffend des Modells.“

Günther und Velten (2014, S. 14) definieren ein mathematisches Modell wie folgt:

Ein mathematisches Modell ist ein Objekt (S, Q, M) , wobei S ein System, Q eine Frage bezüglich S und M eine Menge von mathematischen Aussagen $M = \{\Sigma_1, \Sigma_2, \dots, \Sigma_n\}$ ist, die zur Beantwortung von Q verwendet werden kann.

Bender (2012, S. 2) sieht in einem mathematischen Modell ein abstraktes Konstrukt, das sich auf einen Bereich der Realität bezieht und für einen ganz bestimmten Zweck konstruiert wurde.

A mathematical model is an abstract, simplified, mathematical construct related to a part of reality and created for a particular purpose.

Dies wird auch durch die Definition von Arn et al. (2004, S. 86) belegt:

Mit dem PC im Unterricht lassen sich Lernsituationen schaffen, in denen die Auszubildenden mit interaktiven Modellen Wirkungszusammenhänge und Funktionsabläufe selber untersuchen können. Dabei geht es im einfachsten Fall um automatische Berechnungen mit variablen Eingangsgrößen, in anspruchsvolleren Anwendungen um die Simulationen technischer oder physikalischer Systeme bzw. um die Veranschaulichung mathematischer Zusammenhänge.

Auch Kircher et al. (2015, S. 403) verweisen darauf, dass Simulationen oder Modelle nur einen Teilbereich der Realität wiedergeben und die reale Welt somit begrenzt dargestellt wird.

Auch für Günther und Velten (2014, S. 5) „zielen Modellierung und Simulation auf eine Vereinfachung des gegebenen komplexen Systems ab, nicht aber auf die nutzlose Erzeugung komplexer Kopien der komplexen Realität“. Als bestes Modell „ist das einfachste Modell unter allen Modellen“ (ebd., S. 5) zu verstehen, dabei steht die Teleologie im Fokus, die Simulation „dient [also] dem Zweck Probleme zu lösen.“ (ebd., S. 5)

Rein wissenschaftlich betrachtet wäre eine Simulation, in der die Wirklichkeit nur partiell dargestellt wird, in manchen Fällen unzureichend, vor allem dann, wenn Unsicherheiten aus der virtuellen Umgebung resultieren. Aus didaktischer Betrachtungsweise zeigt „die Reduktion auf wenige, aber entscheidende Faktoren sowie ein ‘Ausblenden’ unwichtigerer Aspekte eine interessante Perspektive: Dies reduziert die Komplexität eines Inhalts. Gleichzeitig werden damit auch die wichtigen Einflussgrößen akzentuiert, und ihre Wirkung wird leichter erkennbar.“ (Kircher et al., 2015, S. 403)

Dabei muss es nicht unbedingt um technische Fragestellungen gehen, auch „Bearbeitungsvorgänge in einer Produktionsanlage, Wartesituationen für bewegliche Objekte oder Geschäftsprozesse bei der Organisation betrieblicher Abläufe“ können simuliert werden. Gute Simulationen können sogar den Zufall einschließen und daraus resultierende Zustandsänderungen berücksichtigen (vgl. Kircher et al., 2013, S. V). In diesem Fall ermöglicht die Simulation eine Optimierung von geplanten, aber noch nicht realisierten Projekten (z. B. Produktionsabläufe, Geschäftsprozesse, Verkehrsflüsse).

Simulationen dieser Art werden herangezogen, um auf experimentellem Weg viele Alternativen zu prüfen und auf Grund dieser Erkenntnisse möglichst optimal handeln zu können (vgl. Hedtstück 2013, S. 3ff.).

Kircher, Girwidz, und Häußler (S. 234) machen in ihrer 2015 erschienenen Ausgabe von Physikdidaktik den Geräteeinsatz im Physikunterricht davon abhängig, wie ein Phänomen am besten erfasst werden kann. Dies kann mit dem Freihandversuch erreicht werden, der „ohne großen apparativen Aufwand und ohne Geräte“ auskommt, oder durch Zuhilfenahme von physikalischen Apparaturen und Messgeräten, die immer dann präferiert werden, wenn Messwerte nicht direkt mit den Sinnen erfasst werden können. Gerade für den Einsatz im Physikunterricht führen Kircher et al. (2015, o. S.) auch den Simulationsversuch an, den sie folgendermaßen definieren:²⁷

Wesentliche Teile eines physikalischen Systems werden im Rahmen eines Modells nachgebildet. Die Gestaltungselemente des Modells (Größe, Vereinfachungen, ...) machen die relevanten physikalischen Prinzipien leichter erfassbar als in komplexen, realen Systemen. Beispielsweise lässt sich die spontane Entstehung magnetischer Domänen am Magnetnadelmodell prinzipiell zeigen. Die Vorstellungen können dann in den mikroskopischen Bereich übertragen werden. (Kircher et al., 2015, S. 234)

Der Simulationsversuch hat demnach – je nach didaktischer Überlegung – den gleichen Stellenwert wie der klassische Versuch.

²⁷ Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass Kircher et al. (ebd., S. 234) als vierten Punkt das Gedankenexperiment anführen.

Besonders relevant für diese Arbeit ist die Tatsache, dass nicht immer „Geräte für ein Schülerexperiment noch für ein Lehrerexperiment vorhanden sind“. (Kircher et al., 2015, S. 234) In diesem Fall „müssen Abbildungen und Texte in Büchern, auf Folien oder Arbeitsblättern das Experiment ersetzen.“ (ebd., S. 234) Die Autoren führen aber bereits im nächsten Satz an, dass in diesem Fall ein Blick ins Internet Abhilfe schaffen kann, denn dort sind „[g]elegentlich [...] Simulationen eines Experiments als [...] Computersimulation verfügbar.“ (ebd., S. 234)

Damit das Simulationsmodell wahre Ergebnisse liefert, müssen die beiden grundlegenden Eigenschaften „Korrektheit und Gültigkeit“ erfüllt sein:

Die Korrektheit ist dann gegeben, wenn Modellierungsmittel im richtigen syntaktischen Kontext eingebunden sind und das Modell frei von logischen Fehlern ist. Um dies zu gewährleisten, ist eine sogenannte Verifikation nötig (vgl. Hedtstück, 2013, S. 8).

Von einem validen, also einem gültigen Modell darf dann ausgegangen werden, wenn es mit der Wirklichkeit in strukturellen Eigenschaften kongruent ist und auch das richtige Modell erstellt wurde. Hedtstück (2013, S. 8) gibt den Sinn vereinfacht mit folgenden Worten wieder:

*Die Korrektheit drückt aus, dass ein Modell richtig erstellt wurde,
dagegen bedeutet Gültigkeit, dass das richtige Modell erstellt wurde.*

Um stets das Optimum zu erreichen oder zu halten wird ein ständiger Zyklus von Verbesserungsschritten empfohlen (vgl. Hedtstück 2013, S. 8f.). Diese Optimierungsschritte werden hier nicht näher angeführt, da für diese Untersuchung Simulationen verwendet werden, die von universitärer Seite bereits auf fachdidaktische Aspekte und deren sachliche Korrektheit überprüft worden sind.

So sind für die gegenständliche Untersuchung unter anderem auch Simulationen verwendet worden, die von der „University of Colorado“ zum Download freigegeben und bereits²⁸ über 110 Millionen Mal abgerufen wurden.²⁹

²⁸ Stand April 2015

²⁹ Die Autoren Kircher, Girwidz, und Häußler (2015, S. 378) untersuchten ebenfalls unter Zuhilfenahme der virtuellen Versuche von der University of Colorado das Schülerinnen- und Schülerverhalten während des Physikunterrichts. Dabei wurden auf Grund der guten Aufbereitung die Simulationen intensiv genutzt. Die Interaktivität wurde als „wesentlicher Motivationsfaktor“ wahrgenommen. Von einigen Teilnehmerinnen und Teilnehmern wurden die englischen Instruktionen als nachteilig empfunden.

Nach Arn et al. (2004, S. 6; 82) gibt es eine wachsende Zahl an interaktiven Lernprogrammen, die als didaktische Hilfsmittel eingesetzt werden können. Um die angesprochene Gefahr zu umgehen – dass die Programme entweder zu komplex oder zu trivial sind – wird wie soeben angeführt auf bereits bestehende und erprobte Software zurückgegriffen. Allerdings besteht noch eine weitere Gefahr:

Wenn didaktische Simulationsprogramme nicht sorgfältig in den Unterricht eingeführt werden, verleiten sie leicht dazu, den zu untersuchenden Prozess als Spiel zu betrachten, bei dem man solange an allen Knöpfen dreht, bis sich dann eher zufällig das gewünschte Ergebnis einstellt. (Arn et al., 2004, S. 82)

Arn et al. (2004, S. 82ff.) schlagen in diesem Fall den Weg der Selbsterstellung von Simulationen für ihre Technikstudentinnen und -studenten vor. Da dieser Weg sehr beschwerlich ist und nur von Studentinnen und Studenten bestimmter Fachrichtungen bestritten werden kann, muss bei der vorliegenden Studie darauf verzichtet werden. Allerdings wird versucht, die anderen didaktischen Richtwerte einzuhalten:

Wichtig ist auch hier die Auseinandersetzung mit der Problemstellung, die sorgfältige Problemanalyse, [die Verwendung]³⁰ einer benutzerfreundlichen Oberfläche und die Kontrolle der Ergebnisse. (Arn et al., 2004, S. 82)

3.7.1 Arten von Simulationen

1. Simulation für Systeme mit deterministischen Inputgrößen:

Wie bereits in dieser Arbeit ausgeführt, gibt es viele Möglichkeiten, Simulationen einzusetzen. Auch Werners (2008, S. 247) bestätigt den vielfältigen Funktionsumfang an Simulationen. Sie führt als Beispiele Flugzeugsimulatoren, sowie Konstruktionsmodelle an, deren Strömungsverhalten im Windkanal getestet wird, aber auch medizinische Tests an Tieren und die Untersuchung von Medikamentenverträglichkeit an Menschen. Dabei unterscheidet sie (ebd., S. 248)

(In der vorliegenden Arbeit – die auf die Sekundarstufe I abgestimmt ist – werden die Anleitungen in deutscher Sprache vorbereitet, bzw. liegen bereits Übersetzungen vor.)

³⁰ Im Originalzitat wird anstelle des Begriffs „Verwendung“ der Begriff „Entwurf“ gebraucht.

zwischen mathematischen Modellen, welche „sich schwerpunktmäßig mit [der] Abbildung eines Ausschnitts der Realität [...] [beschäftigen und dem] Simulationsmodell, welches ebenfalls mathematisch sehr anspruchsvoll sein kann, in dem die einzelnen Bestandteile und ihr Zusammenwirken meist separat modelliert werden.“ Für die Simulation ist allerdings „neben dem Nachbilden eines realen Sachverhalts in einem Modell die Verwendung dieses Modells zur Durchführung von Experimenten charakteristisch.“ (Werners, 2008, S. 248) Die gewonnenen Erkenntnisse und Abhängigkeiten lassen sich auf die Realität übertragen. Das Realsystem wird im Modell abgebildet und das Modell wird zum System. In diesem System gelten gleiche Relationen und Eigenschaften zwischen den Elementen (engl.: entities) (vgl. ebd., S. 248f.).

Unter System versteht man die Gesamtheit der für das Modell betrachteten Elemente mit ihren logischen Beziehungen und wohldefinierten Interaktionen. (Suhl, 2014, o. S., online)

Je nach Absicht und Eigenschaft der Elemente spricht Suhl (2014, o. S., online) von „permanent“ oder „temporary entities“:

Permanent entities verbleiben ständig im System und haben feste Eigenschaften, wie zum Beispiel maximale Belegungszeit, Arbeitsgeschwindigkeit, Rüstkosten und so weiter.

Im Gegensatz dazu gibt es Aufträge, die abgearbeitet werden und nur eine begrenzte Zeit im System verbleiben, diese werden als „temporary entities“ bezeichnet.

Zusätzlich können Elemente individuelle Attribute besitzen, diese können konstanter Natur sein, aber auch variabel, zum Beispiel kann in der Simulation von einer Maschine ausgegangen werden, welche einmal besetzt und einmal frei ist (Attribut besetzt oder frei).

Für die Änderung eines Zustands, ist ein Ereignis (event) vonnöten, wie zum Beispiel das Freiwerden einer Maschine. Innerhalb des Ereigniszeitraumes bleibt das System also unverändert, allerdings startet bereits eine neue Aktivität, die das folgende Ereignis initiiert (vgl. Suhl, 2014, o. S., online).

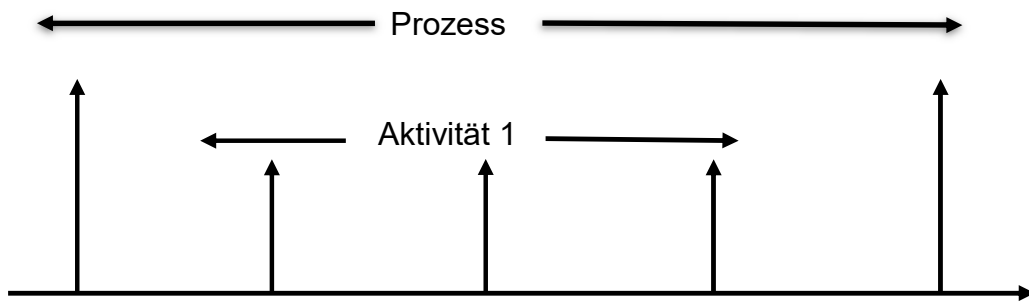


Abbildung 17: Prozessablauf nach Suhl (2014, o. S., online)

Aus Sicht des Operations Research wird mit Simulation die Entwicklung und der Einsatz eines mathematischen Modells zur experimentellen Untersuchung eines Systems und seiner Eigenschaften bezeichnet. Wird ein dynamisches System mit seinem Verhalten im Zeitablauf untersucht, spricht man von dynamischer Simulation. Sind alle Einflüsse auf das System bekannt, handelt es sich um eine deterministische Simulation. Werden risikobehaftete Einflüsse im System berücksichtigt, nennt man dies stochastische Simulation. (Werners, 2008, S. 249)

Nach Suhl (2014, o. S., online) lassen sich in der deterministischen Simulation die Folgezustände eindeutig aus den Inputgrößen und den Regeln des Systems herleiten. Der Ausgang der deterministischen Simulation ist auf Grund der Eingangsgrößen und des gesetzmäßigen Ablaufs eindeutig.

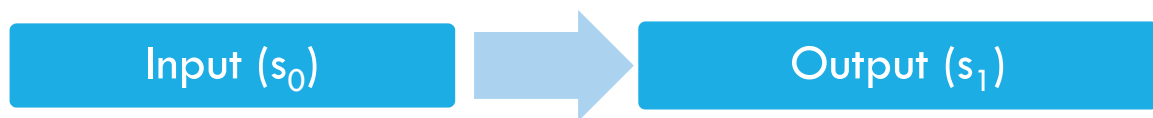


Abbildung 18: Deterministische Simulation (vgl. Suhl, 2014, o. S., online).

2. Simulation für Systeme mit stochastischen Inputgrößen

Nicht immer kann der Ausgang der Simulation durch ein deterministisches Modell beschrieben werden, da dieses Modell keine Zufälle berücksichtigt (vgl. Werners, 2008, S. 265).

Bei der stochastischen Simulation können Zufälle abhängig von den Eingangsgrößen auftreten. Folgezustände werden also auch von Unsicherheiten und Zufallsereignissen beeinflusst. Hier ist es also nicht möglich, den Ausgang der Simulation eindeutig zu kennen, da mehrere verschiedenartige Ergebnisse entstehen können (vgl. Suhl, 2014, o. S., online).

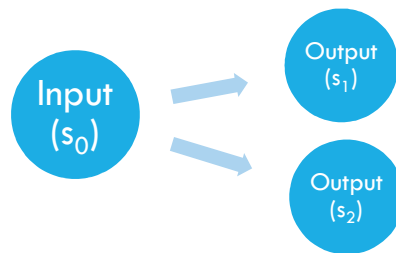


Abbildung 19: Stochastische Simulation (vgl. Suhl, 2014, o. S., online)

Werden bei einer Simulation Zufallszahlen als Eingangsgrößen verwendet, spricht man von der Monte Carlo-Simulation (vgl. Suhl, 2014, o. S., online; Werners, 2008, S. 265). Wie der Terminus schon vermuten lässt, ist diese Simulationsmethode nach der Stadt Monte Carlo benannt, denn wie beim Roulette in den Spielcasinos in Monte Carlo hat das vorangegangene Ergebnis keinen Einfluss auf das nächste Ereignis (vgl. Suhl, 2014, o. S., online). Die Chance beim Roulette eine richtige Vorhersage zu treffen ist aufgrund der Tatsache, dass es 37 mögliche Felder gibt, nur ein 37stel. Nach einem einzigen Versuch lässt sich über den Ausgang keine Aussage treffen. Allerdings lassen „[a]usreichend häufige Beobachtungen der zufallsabhängigen Ereignisse [...] Aussagen über die zu Grunde liegende Verteilung zu.“ (ebd., S. 265f.)

Dieses statische Verfahren berücksichtigt Unsicherheiten, welche als Ergebnisgrößen protokolliert werden. Nach Suhl (2014, o. S., online) lässt die Steigerung der Anzahl an Wiederholungen eine genaue Prognose über die Verteilung der Ergebnisse zu.

Für Schanz (2002, S. 16) ist diese Monte Carlo-Simulation auch in der Physik und generell in den Naturwissenschaften nicht wegzudenken. Erst durch sie kann man „viel komplexere Systeme [...] analysieren als es sonst möglich ist.“ (ebd., S. 16)

3. Kontinuierliche Simulation

Kontinuierliche Größen können in verschiedensten Kontexten vorkommen. Dabei bewegen sich die abhängigen Größen in einem kontinuierlichen Intervall. Im

Physikunterricht kann das zum Beispiel ein Temperaturbereich von -10°C bis $+50^{\circ}\text{C}$, ein bestimmter Druck oder andere kontinuierliche Größen wie Entfernung, Geschwindigkeit, Kraft, Masse sein, welche durch die Simulation nachgebildet werden (vgl. Suhl, 2014, o. S., online). Auch die zunehmende Geschwindigkeit eines Autos bei Druckerhöhung auf das Gaspedal ist ein Beispiel für eine kontinuierliche Änderung des Zustands (vgl. Werners, 2008, S. 249f.).

4. Diskrete Simulation

Während simulierte Zustandsänderungen, die permanent eintreten, als kontinuierliches System bezeichnet werden, treten die Änderungen bei der diskreten Simulation zu bestimmten Zeiten ein (vgl. Hedtstück, 2013, S. 3). Treten keine Zustandsänderungen auf, wird von statischen Systemen gesprochen (ebd., S. 10).

Ändern sich die Zustände stetig, nennt man das Modell kontinuierliches bzw. stetiges Modell, andernfalls handelt es sich um ein diskretes Modell. (Werners, 2008, S. 250)

Ist ein Zustand zum Beispiel von der Zeit abhängig, so spricht man von einem dynamischen System (Werners, 2008, S. 249; Hedtstück, 2013, S. 3; Suhl, 2014, o. S., online). Im Gegensatz dazu nehmen bei einer diskreten Simulation die abhängigen Größen nach einem festgelegten Intervall, ohne dass Zwischengrößen auftreten, sprunghaft andere Werte an (vgl. Suhl, 2014, o. S., online).

5. Überblick über die Klassifizierung der Simulation

Abschließend soll in diesem Kapitel ein kurzer Überblick über die Arten der Simulationen bzw. über den Simulationsbegriff gegeben werden. Statische Systeme bleiben über den gesamten Zeitablauf konstant. Im Gegensatz dazu ändern sich in dynamischen Systemen die Elemente im zeitlichen Ablauf. Abhängig von der zeitlichen Änderung des Zustands wird von einem kontinuierlichen (allmähliche Änderung) oder diskreten Modell (sprunghafte Änderung) gesprochen. Je nachdem, ob die Einflüsse auf die Simulation zufallsabhängig sind, wird von einem stochastischen oder deterministischen System gesprochen (Werners, 2008, S. 247ff.; Hedtstück, 2013, S. 1ff.; Suhl, 2014, o. S., online).

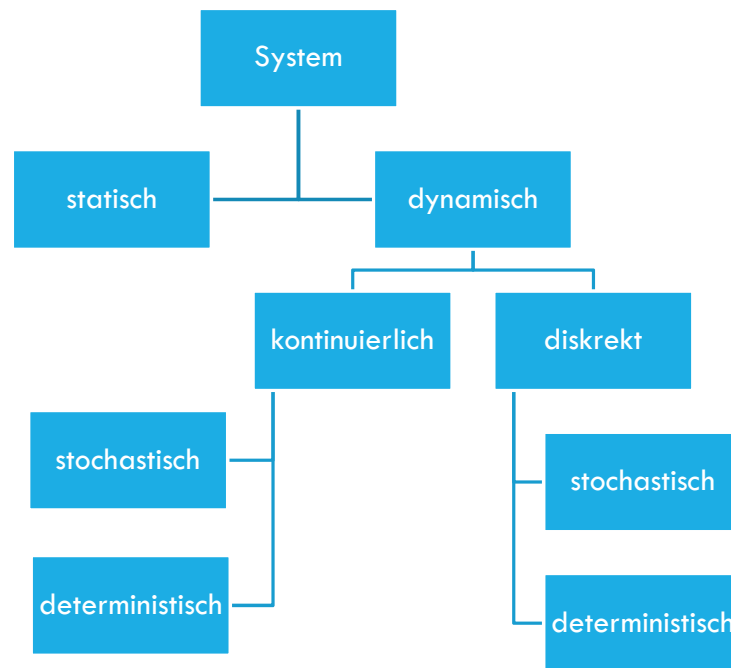


Abbildung 20: Typen von Systemen (vgl. Hedtstück, 2013, S. 11)

3.8 Virtueller Versuch – Computersimulation – Begriffsabklärung

In der Literatur lassen sich zahlreiche Ansätze und Definitionen zum Bereich von virtuellen Versuchen und Computersimulationen finden. Dabei gibt es durchaus differenzierte Betrachtungsweisen:

Der Begriff der Simulation ist [wie bereits erläutert] keinesfalls eindeutig belegt und bedarf der Klärung. (Bungartz et al., 2013, S. 1)

Weber (2003, o. S., online) und Bungartz et al. (2013, S. 1) sind der Ansicht, dass Simulationen an einen Computer gebunden sind und als nicht reales Experiment durchgeführt werden.

Simulationen im weiteren Sinne sind in gewisser Weise also nichts anderes als „virtuelle Experimente“ auf dem Computer. (Bungartz et al., 2013, S. 1)

Hedtstück (2013, S. 3) verfeinert den Simulationsbegriff und unterscheidet im Gegensatz zu Bungartz et al. zwischen „realen oder imaginären Systemen“. Ist der Einsatz eines Computers Bedingung, spricht er von einer „digitalen Simulation“.

Theoretische Grundlagen

Bei der digitalen Simulation wird ein System in ein Computermodell in Form von Software abgebildet. (ebd., S. 3)

Nach Kröger und Breuer (2011, S. 193) akzentuiert der Begriff „virtuell“ „die Kraft und Möglichkeit sowie die Simulation und Künstlichkeit, Kommunikation, Informationen und Imagination mittels digitaler Technologien.“

Für Suhl (2014, o. S., online) stellt die Übertragbarkeit der rechnergesteuerten Ergebnisse des Simulationsmodells in die Realität eine Grundvoraussetzung dar (Isomorphie).

Virtuelle Experimente sind auf Grund ihrer vielen Vorteile in jedem wissenschaftlichen Bereich stark im Vormarsch. Bungartz et al. (2013, S. 2) führen zum Beispiel an, dass es in der Astronomie durch Simulationen möglich wurde, Erkenntnisse zu erlangen, die ansonsten „Milliarden von Jahren am Teleskop“ gekostet hätten. Auch „künstlich erzeugte Erdbeben, [...] Kernwaffentests, Tierversuche oder Gentechnik“ (ebd., S. 2) sind bedenkenlos virtuell durchführbar.

Außerdem lassen sich Bauwerke auf ihre Statik überprüfen, Aussagen über die Gefährlichkeit des HIV-Virus treffen und Notfallszenarien wie die Evakuierung eines voll besetzten Fußballstadions labormäßig erfassen. Aufwändigste Fundamentalexperimente der modernen Physik lassen sich ebenso digital umsetzen (vgl. ebd., S. 2).

Es führt also kein Weg an der Simulation vorbei, und es lohnt sich folglich, diese Methodik etwas näher in Augenschein zu nehmen. Klar ist aber auch: Simulationen ergänzen theoretische Analyse und Experiment, sie ersetzen sie jedoch keinesfalls. (Bungartz et al., 2013, S. 2)

Nach Weber (2003, o. S., online) haben die Anwenderin und der Anwender mehr oder weniger starke Interaktionsmöglichkeiten. Es ist von der Hard- und Software abhängig, wie realitätsnah die Versuchsaufbauten nachempfunden werden können.

Herzig und Grafe (2006, S. 12) zeigen auf, dass durch neue digitale Medien Experimentier- und Simulationsumgebungen geschaffen werden können. Bei diesen Modellen können die Parameter vorgegeben oder modifizierbar sein. Durch jede Abänderung ergibt sich eine Änderung der Zustände. Werkzeuge zur Bearbeitung von Experimenten können „Texte, Bilder, Tonfolgen, Filme oder Simulationen“ (ebd., S. 13)

sein. Manipulationen oder Experimente werden in einem sogenannten „sanktionsfreien Raum“ durchgeführt.

Experimentier- und Simulationsumgebungen ermöglichen den fiktiven Umgang mit real vorhandenen, aber nicht verfügbaren Gegenständen, Materialien und Situationen und schulen das Denken in Zusammenhängen. (Herzig & Grafe, 2006, S. 12)

Als Beispiele führen Herzig und Grafe (ebd., S. 12) naturwissenschaftliche Experimente, Fahr- und Flugsimulationen, aber auch gesellschafts- und sozialpolitische Möglichkeiten an. Auch nach Tomandl, Losert, Hopf und Arndt (2013, S. 31) ermöglichen „interaktive Simulationen (SIMS) [...] vorwiegend die abstrahierte Darstellung und virtuelle Interaktion mit naturwissenschaftlichen Phänomenen und einem verknüpften Modell.“ Damit wird ermöglicht, dass Versuche in virtuellen Laboratorien mit gefährlichen oder begrenzt verfügbaren Stoffen, sowie medizinische oder biologische Experimente, in der virtuellen Ebene gefahrlos durchgeführt werden können und „für den Benutzer keine realen Folgen haben.“ (Herzig & Grafe, 2006, S. 15)

Nach Memoli (2016, S. 2) ist ein virtuelles Experiment ebenfalls eine steuerbare Applikation: „A Virtual Experiment [...] is a highly interactive web application“. Diese kann je nach Programmierung online oder offline durchgeführt werden und je nach Art auch für Lernplattformen einsatzfähig sein.

Computergestütztes Lernen mit Hilfe von Computersimulationen im naturwissenschaftlichen Unterricht kann somit der besseren Veranschaulichung zahlreicher Konzepte und Prinzipien, der Entwicklung und der Anwendung von Modellen sowie der Erfassung und Auswertung von Messwerten dienen. (Eckhardt, 2010, S. 16)

Krahmer (2002, S. 1) beschreibt am Computer durchführbare Versuche als „Interaktive Bildschirmexperimente (IBE)“, bei denen Bildsequenzen real ablaufender Versuche unter Zuhilfenahme technischer Hilfsmittel zu einem virtuellen Experiment zusammengefügt werden. Nach Krahmer (ebd., S. 1) ist im Gegensatz zum interaktiven Bildschirmexperiment, bei einer reinen Simulation für die Anwenderin oder den Anwender keine Möglichkeit gegeben, das Experiment aktiv zu beeinflussen.

Im Gegensatz dazu führt die Fachhochschule Schmalkalden auf ihrer Homepage folgende Definition an:

Simulationen gehören zu den neuesten Formen der Informationspräsentation. Hierbei handelt es sich um Computerprogramme, in denen der Lernende virtuell verschiedene Experimente durchführen kann, um das zugrundeliegende Modell besser verstehen zu können. (FH Schmalkalden, 2014, o. S., online)

Wie eingangs in diesem Kapitel erwähnt, wird der Terminus „Simulation“ in der Literatur konträr verwendet und die Begriffe „Simulation, virtuell und real“ im physikalischen Umfeld sehr weitläufig gebraucht.

Manchmal wird Simulation gleichbedeutend mit Animation verwendet, was zu Missverständnissen führt.

Mit Computeranimation bezeichnet man die Technik, mit Hilfe des Computers Bewegtbilder (Animation = Trickfilme) zu erzeugen. (Dai, 2013, S. 3)

Der didaktische Einsatzbereich von dynamischen Animationen umfasst die „Demonstration sequentieller Abläufe, [das] Veranschaulichen von kausalen Zusammenhängen in komplexen Systemen, [die Möglichkeit] [u]nsichtbare Funktionen und Verhaltensweisen [zu] visualisieren, [e]ine Aufgabe [zu] illustrieren, die verbal nur schwer zu beschreiben ist und [v]isuelle Analogien für abstrakte und symbolische Konzepte auf[z]uzeigen [und] [d]ie Aufmerksamkeit auf relevante Details [zu] lenken.“ (ebd., S. 3)

Dagegen gibt es, wie Kircher et al. (2010, S. 250f; vgl. Fuhrmann, 1999, S. 21) ausführen, bei Simulationen die Möglichkeit, Modellierungen vorzunehmen und versuchsrelevante Parameter zu ändern. Bei dynamischen (ablauforientierten) Animationen sind diese Möglichkeiten nicht gegeben.

Die Forschungsarbeit von Stolz und Erb (2012) ist ein Beispiel dafür, wie bestimmend definitorische Begriffsabgrenzungen für wissenschaftliche Schlussfolgerungen sein können. Stolz und Erb (2012, S. 83ff.) untersuchten sowohl den Lernzuwachs als auch die Motivation bei offenen Experimentiersituationen. Dieser Studie lag der „Vergleich von virtuellen mit realen Materialien“ (ebd., S. 83) zu Grunde. Im Folgenden wird

dieses Ergebnis ungekürzt wiedergegeben, wobei das gewählte Fachvokabular für die Ergebnisinterpretation eine entscheidende Rolle spielt:

Beim Vergleich der virtuellen und realen Gruppen ist die Motivation der Schülerinnen und Schüler beim Realexperiment höher. Die Analyse der einzelnen Erhebungsinstrumente der Motivation erbringt jeweils einen signifikanten Unterschied auf dem Haupteffekt „Material“ (real-virtuell). Die Effekte (η^2_{partial})³¹ sind auch in diesen Fällen etwas niedrig in einem Bereich von 0.03 bis 0.04. Die Motivation der realarbeitenden Schülerinnen und Schüler ist ebenfalls sowohl vor der Experimentiersituation als auch danach höher als die der virtuell arbeitenden (Stolz und Erb, 2012, S. 84ff.)

Die hier verwendeten Termini basieren auf Definitionen, die jenen, auf denen die gegenständliche Arbeit aufbaut, absolut widersprechen. Die weitere originalgetreue Textwiedergabe klärt diesen Sachverhalt:

Während die virtuellen Gruppen in der Simulation mit Schaltskizzen arbeiteten, experimentierten die realen Gruppen ausschließlich mit real aufgebauten Schaltungen. In den beiden gelenkten Gruppen wurden die Anleitungen an das Material angepasst und enthielten entweder Schaltskizzen oder reale Zeichnungen. (ebd., S. 85)

„Simulation“ wird in diesem Zusammenhang mit dem Medium „Schaltskizzen“ in Verbindung gebracht. Obwohl diese Skizzen nur vereinfachte Abbildungen realer Schaltbilder sind, wird in dieser Studie von virtuellem Material gesprochen.

Für die gegenständliche Arbeit wird neben der bereits zitierten Definition von Eckhardt (2010, S. 16) auch auf die sehr umfassende Definition von Glavnik zurückgegriffen, da diese speziell auf den Unterricht abgestimmt ist. Dabei verwendet er die Termini „virtuelles Experiment“, „Computersimulation“ und „Computer-Experiment“ synonym (vgl. Glavnik, 2015, o. S., online; FH Schmalkalden, 2014, o. S., online).

Nach Glavnik (ebd., o. S.), der seine Definition grafisch aufgebaut hat, weisen virtuelle Experimente für den Einsatz im Physikunterricht folgende Merkmale auf:

³¹ Maß für die Effektstärke

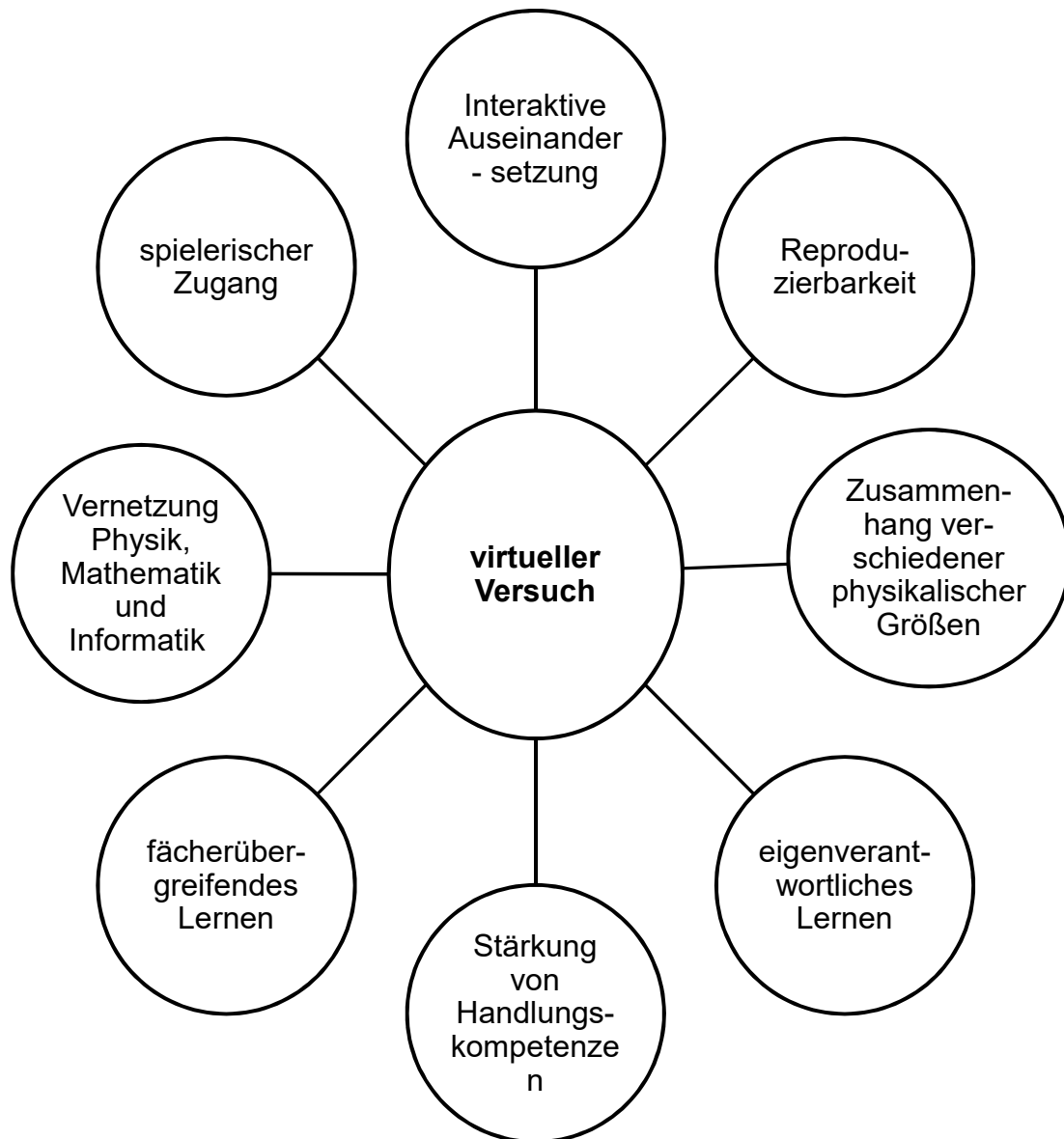


Abbildung 21: Virtueller Versuch (Glavnik, 2015, o. S., online)

Laut Glavnik (ebd., o. S.) kommt es bei der Durchführung von virtuellen Versuchen nicht nur auf die Schulung von Fähigkeiten, wie Beobachten und Interpretieren, Umgang mit Messwerten, Mathematisieren und Medienkompetenz, an. Zusätzlich kommt es durch den Einsatz der Experimentiersoftware am Computer – im Gegensatz zu anderen Unterrichtsformen, zum Beispiel Frontalunterricht – zu einer Steigerung der Motivation. Virtuelle Versuche können also den Frontalunterricht bei Experimenten, „die schwer zugänglich, zu aufwändig, zu teuer oder zu gefährlich sind“ oder auf Grund ihrer hohen Komplexität undurchführbar wären, ersetzen (vgl. auch Thomsen & Jeschke, 2010, S. 207; Eckhardt, 2010, S. 16; Thoms & Girwidz, 2012, S. 113).

Zumbachs (2010, S. 113) Befunde weisen weitere Vorteile von virtuellen Versuchen aus: So besteht die Möglichkeit bei Versuchen höherer Komplexität Störvariablen gezielt auszublenden und dadurch Abläufe zu vereinfachen. Außerdem können durch wiederholtes Üben physikalische Fertigkeiten gefestigt werden. Es muss also die Reproduzierbarkeit gegeben sein, wobei „[d]iese Eigenschaft ganz besonders wertvoll [ist], wenn entsprechende reale Situationen schwer zugänglich sind“. Die Simulation ermöglicht hierbei die Transferierbarkeit auf den Realkontext (vgl. Kircher et al., 2010, S. 250f.).

Ein weiterer Aspekt ist der ökonomische Umgang mit Ressourcen, sowohl in der Einfachheit der Aufgabenstellung (nicht zu viele komplexe physikalische Annahmen), als auch im tatsächlichen Aufwand.

Für Glavnik (2015, o. S., online) bietet das virtuelle Experiment im Gegensatz zum klassischen Versuch neben den soeben erwähnten Einsatzzwecken auch die Möglichkeit, dass jede Schülerin und jeder Schüler das Computerexperiment selbst durchführen kann. Dennoch sollte das virtuelle Bildschirmexperiment das reale Experiment nicht verdrängen, sondern ergänzen.

Rath (1995, S. 11) befürwortet zwar den Einsatz des virtuellen Experiments in Form eines Schülerinnen - und Schülerversuchs:

Das Ersetzen realer Versuche durch Simulationen auf dem PC erscheint mir wieder nur dann sinnvoll, wenn diese von den Schülern selbst durchgeführt werden können. (ebd., S. 11)

Andererseits geht er davon aus, dass virtuelle Versuche vor allem in „unzugänglicheren Gebieten wie Atom- und Teilchenphysik, Astronomie oder Relativitätstheorie“ sinnvoll zum Einsatz kommen sollten. (ebd., S. 11)

Kircher et al. (2010, S. 250f.) nehmen in ihrem Standardwerk „Physikdidaktik“ Bezug auf die bereits 1994 von Dieterich (207ff.) formulierten didaktischen Aspekte von Simulationen. Wie jedes physikalische Modell kann eine Simulation nur einen Teilbereich der Wirklichkeit darstellen, die reale Welt wird also reduziert. Die Vereinfachung der Wirklichkeit stellt sich für wissenschaftliche Forschungen oft als nachteilig heraus. Für den Schulbereich ergeben sich daraus interessante didaktische Anwendungsbereiche, da durch gezieltes Ausblenden bestimmter Aspekte der Umfang eines Stoffgebietes vermindert wird und das momentan relevante Stundenthema durch gezielte Substitution in den Vordergrund gestellt wird.

In der Literatur wird das gezielte Weglassen von Inhalten als didaktische Reduktion bezeichnet (vgl. Kircher et al., 2015, S. 108; Müller, 2006, S. 75).

Auch Kohen (2011, S. 17) verbindet mit dem Terminus „Didaktische Reduktion“ die Auswahl des Lernstoffs und Aufbereitung des Inhalts, „mit deren Hilfe Sachwissen im Hinblick auf die Verständnisebene des Lerner selektiert und transformiert wird.“ Allerdings kritisiert Kohen (ebd., S. 18), dass „[g]erade der naturwissenschaftliche Unterricht [...] sich häufig an der Sachstruktur [orientiert]. Besonders bei der Betrachtung von „Schulbücher[n] für Chemie oder Physik [...] kann man die offensichtliche starke Sachstrukturegebenheit feststellen“. (ebd., S. 18)

Exkurs: Didaktische Reduktion

In einem ähnlichen Kontext ist die didaktische Rekonstruktion zu sehen. Metzger (2010, S. 45ff.) beschreibt in ihrem Artikel, dass fachliches Wissen immer auch mit der Perspektive der Schülerinnen und Schüler in Beziehung gesetzt werden muss.

Die grundlegende Idee des Modells der Didaktischen Rekonstruktion ist es, die fachwissenschaftliche Perspektive mit der Perspektive der Schülerinnen und Schüler so in Beziehung zu setzen, dass daraus der Unterrichtsgegenstand entwickelt werden kann. (ebd., S. 45)

Die didaktische Struktur ist also sowohl an die sachliche Klärung des Inhalts, als auch an „das Erfassen der Perspektiven der Lernenden, somit deren Vorstellungen und Interessen gebunden.“ (ebd., S. 45ff.)

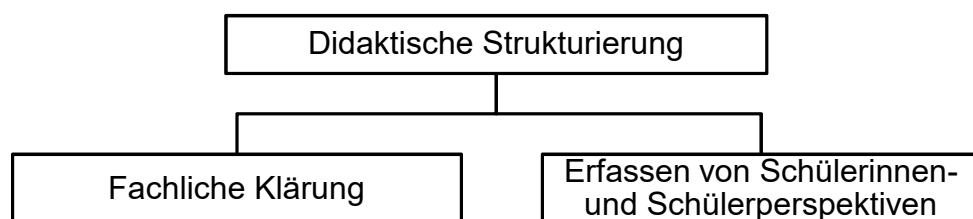


Abbildung 22: Fachdidaktisches Triplet nach Metzger (2010, S. 47)

Für die Lehrperson bedeutet dies wiederum, folgende drei Aspekte in den Vordergrund des Unterrichts zu stellen:

- Aspekt der Vereinfachung des Inhalts: Relevante Einzelelemente werden gezielt in den Vordergrund gestellt. Durch Konkretisierung der Inhalte kann ein allzu hoher Abstraktheitsgrad vermieden werden.

Theoretische Grundlagen

- Aspekt der Bestimmung des Elementaren: Meist können naturwissenschaftliche Inhalte generalisiert werden und in eine allgemeine Gesetzmäßigkeit überführt werden. Generalisieren kann aber auch eine Erhöhung des Schwierigkeitsgrades bedeuten – dies steht im Widerspruch zur Vereinfachung des Inhalts – was einen behutsamen Umgang beim Erarbeiten von Gesetzmäßigkeiten erfordert.
- Aspekt der Zerlegung des Inhalts: Teilschritte und Aufsplitten von Lerninhalten geben den Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit, durch bereits vorhandenes Wissen die angestrebten Ziele besser zu erreichen. Gerade hier können Experimente hilfreich sein (vgl. ebd., S. 48).

Hier schließt Metzger (ebd., S. 49) den Kreis von der didaktischen Rekonstruktion zur didaktischen Reduktion. Die fachwissenschaftliche Auseinandersetzung der Lehrperson ist zwar von zentraler Bedeutung, die Aufgabenstellung muss allerdings auf das Anforderungsniveau der Schülerinnen und Schüler hin transformiert werden.

schülergerecht	kognitive Struktur
	Vorwissen
	(Alltags-) Vorstellungen

fachgerecht	fachliche Richtigkeit auf dem Niveau der Lerngruppe
-------------	---

zielgerichtet	Ziele des konkreten Themas
	allgemeine Zielsetzung des Physikunterrichts
	der Entwicklungsfähigkeit angepasster Übergang auf ein höheres Niveau

Tabelle 4: Fachdidaktisches Triplet

Mit dem Einsatz virtueller Versuche kann der didaktischen Reduktion gezielt entsprochen werden.

Auf Grund des rasanten Fortschritts bei der Entwicklung virtueller Realitäten werden Computersimulationen in Zukunft jedoch auch den Vorteil bieten, die Wirklichkeit immer besser abzubilden. So wird diese Technik für immer mehr Bereiche einsetzbar

werden, was die Notwendigkeit neuer forschungsrelevanter Definitionen nach sich ziehen wird (vgl. Ternès, Schultze & Meetz, 2017, S. 77).

Im Hinblick auf die bereits bestehende Vielfalt an Definitionen der Begriffe „Simulation und Experiment“ (teilweise kontrovers) hat sich der Autor der vorliegenden Arbeit dazu entschlossen, immer dann von einem virtuellen Versuch zu sprechen, wenn die Schülerinnen und Schüler physikalische Experimente mittels Computerprogramm durchführen können.

3.9 Virtuelle Realität

Nach Dörner, Broll, Grimm und Jung (2013, S. 5) kann dann von einer perfekten virtuellen Realität (Virtual Reality, VR) gesprochen werden, wenn „Reize erzeugt werden, die einen Menschen die virtuelle Realität wahrnehmen lassen.“ Ein reines Betrachten der virtuellen Welt wäre dem Menschen zu wenig, denn er möchte auch in dieser virtuellen Realität handeln können. Dazu muss die Welt simuliert werden und der Mensch durch Aktionen diese Simulation beeinflussen können. Das Simulationsmodell muss mit der realen Welt korrelieren. Auch auf das bekannte Alltagsleben muss Rücksicht genommen werden, so muss gegebenenfalls der Tag- und Nachtzyklus wirklichkeitsgetreu in die virtuelle Welt eingebunden sein. Auch die Anzeige der Bilder pro Sekunde spielt eine Rolle, wie diese Welt wahrgenommen wird (vgl. Dörner, Broll, Grimm & Jung, 2013, S. 5).

Ein VR-System nennen wir ein Computersystem, das aus geeigneter Hardware und Software besteht, um die Vorstellung einer Virtuellen Realität zu realisieren. Den mit dem VR-System dargestellten Inhalt bezeichnen wir als Virtuelle Welt. Die Virtuelle Welt umfasst z. B. Modelle von Objekten, deren Verhaltensbeschreibung für das Simulationsmodell und deren Anordnung im Raum. Wird eine Virtuelle Welt mit einem VR-System dargestellt, sprechen wir von einer Virtuellen Umgebung für einen oder mehrere Nutzer. (Dörner et al., 2013, S. 7)

Eine inhaltsähnliche Definition findet sich im Duden-Online (2016, o. S.) wieder:

Eine virtuelle Realität ist eine vom Computer simulierte Wirklichkeit oder künstliche Welt, in die sich jemand mithilfe der entsprechenden technischen Ausrüstung scheinbar hineinversetzen kann.

Nach Mainzer (2013, S. 1) sind Computernetze in der Lage, eine virtuelle Realität, „die an die Vorstellungen und Gedanken biologischer Gehirne erinner[t]“ zu schaffen. Der Bereich der virtuellen Realität ist ein Teil der Informatik, in dem vom „Computer erzeugte Szenarien der Natur, Technik und Medizin anschaulich erfahrbar werden.“ (ebd., S. 1) Nach Mainzer ist durch computergestützte Medien, wie das Internet, virtuelle Realität bereits gängige Praxis. So wird Wissen bereits in virtuellen Plattformen gespeichert und es ist üblich, elektronisch Geschäfte zu tätigen und sogar virtuell „Entspannung und Unterhaltung“ zu suchen.

Dörner, Broll, Grimm und Jung (2013, S. 7f.) beschreiben in ihrem Experiment sehr eindrucksvoll, dass sie Versuchspersonen einen Helm aufsetzten, bei dem vor jedem Auge zwei kleine Monitore angebracht waren. Die Personen sahen nun ausschließlich die Bilder der Monitore, welche sich mit der Kopfhaltung änderten. Ein Blick nach oben zeigte ein Bild vom Himmel. Nach einem Schritt nach vorne wurde den Versuchspersonen mittels Computertechnik der Eindruck vermittelt, dass sie sich an der Kante eines Wolkenkratzers befinden. Aufgrund der virtuell-schwindelerregenden Höhe machten die meisten Teilnehmerinnen und Teilnehmer nur mehr sehr vorsichtige Bewegungen und zeigten einen Anstieg von Puls- und Atmungsfrequenz sowie andere Angstreaktionen. Obwohl den Personen ständig klar war, dass es sich um eine Illusion handelte, waren die Reaktionen mit denen in der realen Welt ident.

Auch Nickel (2014, o. S., online) beschreibt, dass der Mensch mit seinen Sinnen in der „Virtuellen Realität“ bzw. in einer simulierten Umwelt so interagiert, wie er es auch in der Realität tun würde.

Kyas (2007, S. 315) zeigt bei Computerspielen, dass ein emotionaler Transfer „aus [der] virtuellen in die reale Welt [...] sehr häufig“ auftritt. Wurde ein Spielziel erreicht, überträgt sich dieses positive Gefühl in die reale Welt und sorgt für gute Stimmung. Dagegen können negative Emotionen bei Misserfolg von Enttäuschung bis hin zu Wut ebenfalls individuell verschiedenen in der realen Welt nachwirken. Es ist sogar eine Umkehrung in die virtuelle Welt möglich, bei der „Stimmungen und Gefühle des Alltags

in eskapistischer³² oder kompensationsloser Weise im Spiel aufgearbeitet werden.“ (ebd., S. 315) Werden Computerspiele exzessiv genutzt, können sogar Träume davon betroffen sein. Bildschirmserlebnisse werden im Schlaf gedanklich weitergeführt, auch Schweißausbrüche und Angstzustände können vorkommen (ebd., S. 318).

Virtuelle Realitäten hören aber nicht bei Computerspielen auf, zum Beispiel bei der Nutzung von Lenkrad und Fußpedal bei einem Autorennspiel, das eine Navigation durch die virtuelle Welt zulässt (vgl. Dörner et al., 2013, S. 7f.).

Nach Dörner et al. (2013, S. 9) kann „die Beschäftigung mit Virtueller Realität als methodischer Ansatz verstanden werden, neue Formen von Mensch-Computer Interaktionen dadurch zu finden, dass man auf eine Mission einer perfekten Virtuellen Realität hinarbeitet.“

Betont werden muss hier, dass es klare Abgrenzungen von virtueller Realität zu guter 3D-Computergrafik gibt. Folgende tabellarische Gegenüberstellung soll einen Vergleich mit konventioneller Computergrafik bieten:

3D-Computergrafik	virtuelle Realität
Rein visuelle Präsentation	Multimodale Präsentation: visuell, akustisch, haptisch
Präsentation nicht notwendigerweise zeitkritisch	Echtzeitdarstellung
Betrachterunabhängige Präsentation (exozentrische Perspektive)	Betrachterabhängige Präsentation (egozentrische Perspektive)
Statische Szene oder vorberechnete Animation	Echtzeitinteraktion und -simulation
2D-Interaktion (Maus, Tastatur)	3D-Interaktion (Körperbewegung, Hand-, Kopf- u. Körpergestik) + Spracheingabe
Nicht-immersive ³³ Präsentation	Immersive Präsentation

Tabelle 5: Merkmale von VR im Vergleich zu konventioneller Computergraphik (Dörner et al., 2013, S. 14)

³² Unter Eskapismus versteht man die Wirklichkeits- oder Weltflucht.

³³ Immersion ist in der Literatur unterschiedlich definiert. In diesem Zusammenhang meint Immersion:

- dass die Sinneseindrücke durch den Computer generiert werden (ohne reale Umgebung)
- dass Nutzer von der realen Welt abgeschottet sind
- dass das Sichtfeld des Users weitgehend von virtuellen Bildern umgeben ist
- dass eine lebendige Darstellung gewährleistet ist (hohe Auflösung, hohe Qualität...) (vgl. Dörner et al., 2013, S. 14)

Strickland (2007, S. 7) beschreibt eindrucksvoll vielfältige Einsatzbereiche der virtuellen Realität: So werden zum Beispiel Autoteile erst dann produziert oder militärische Trainingsprogramme erst umgesetzt, wenn sie in einer virtuellen Umgebung funktionieren. Auch medizinische Maßnahmen werden heute immer öfter am Computer simuliert und erst bei Erfolg am Menschen durchgeführt. Selbst in der Psychotherapie findet die virtuelle Realität immer mehr Anwendungsgebiete. So werden zum Beispiel Phobien durch Zuhilfenahme nicht realer Zustände erfolgreich behandelt.

Nach Bente, Krämer und Petersen (2002, S. 43) sind virtuelle Realitäten „computergenerierte, elektronische Welten [...], die der Mensch nicht [...] unmittelbar betreten kann [...] [D]ie Welten werden erst dann sichtbar, wenn der Mensch über eine Schnittstelle mit dem Computer Informationen austauscht.“ Ähnlich definieren Schwan und Buder (2006, S. 1; vgl. Brill, 2008, S. 83) virtuelle Realitäten als „computergenerierte Echtzeit-Darstellungen von realen oder fiktionalen Umgebungen.“ Sie zeigen auch auf, dass virtuelle Realitäten zunehmend zum Lernen und Wissenserwerb eingesetzt werden.

Schwan und Buder (2006, S. 2ff.) sehen im Einsatz von virtuellen Realitäten mehrere Vorteile für die Lehre. Besonders verweisen sie auf die Möglichkeit der Veranschaulichung. Abhängig vom Lernthema kann ein real wirkendes räumliches Szenario geschaffen werden und je nach Lerninhalt werden gezielt andere Sinneskanäle angesprochen. Nach Bigl (2016, S. 110) werden innerhalb der virtuellen Umgebung, je nach Anwendung, besonders visuelle, akustische, vestibuläre und taktile Sinneskanäle stimuliert. Meist werden keine abbildungsgetreuen, sondern schematisierenden Abbildungen verwendet, bei denen man bewusst auf eine möglichst hohe Abbildungstreue verzichtet. Als Beispiel führen Schwan und Buder (2006, S. 2ff.) eine interaktive dreidimensionale Veranschaulichung eines menschlichen Gehirns an, welches aber nicht „fotorealistisch“, sondern grafisch vereinfacht dargestellt wird.

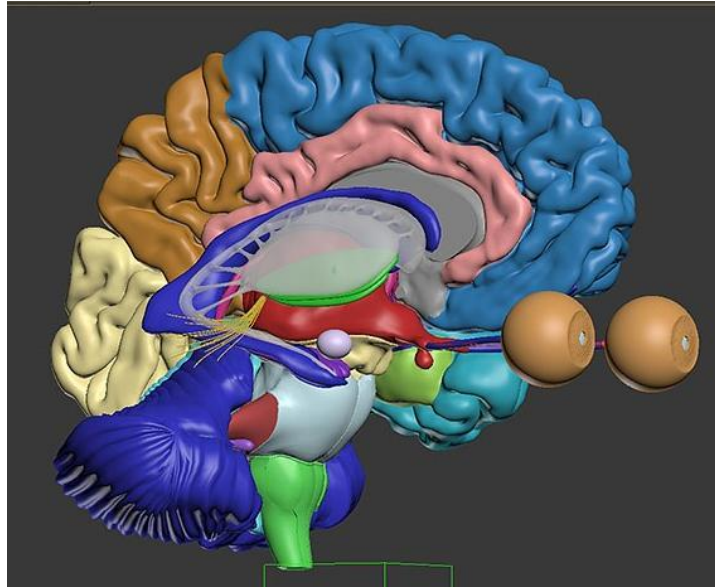


Abbildung 23: 3D Gehirn, Hofer & Krol, 2013, o. S., online

Nach Gruber (2015, S. 3) werden diese am Computer virtualisierten Darstellungen physikalischer Modelle besonders oft und in verschiedensten wissenschaftlichen Disziplinen, wie Medizin, Architektur, Psychologie und Pädagogik verwendet. Sie tragen dazu bei, Aussehen und Eigenschaften virtueller Prototypen zu simulieren. Virtuelle Prototypen (virtual prototyping) sind digitale Entwicklungs- und Evaluierungswerkzeuge, die auch in der Industrie eingesetzt werden, um zum Beispiel eine visuelle Darstellung oder sogar „das Eintauchen in virtuelle Realitäten“ zu ermöglichen (vgl. Grünwied, 2017, S. 188). Virtuelle Prototypen sind im Produktionsprozess aufgrund des enormen Informationsgewinnes und der geringeren Kosten bereits in einem sehr frühen Stadium nicht mehr wegzudenken (vgl. Gruber, 2015, S. 3).

Laut Gruber (2015, S. 11) sind für die Herstellung guter Visualisierungen „[u]mfangreiche Programmierkenntnisse sowie Hardwarekomponenten mit entsprechend gut dimensionierter Rechenleistung“ Voraussetzung, um virtuelle Anforderungen und dynamische Interaktivitäten zu gewährleisten.

Eine visuell ansprechende Approximation an reale Phänomene in einer virtuellen Welt erfordert neben der fotorealistischen Darstellung der Szenenobjekte auch die Berücksichtigung und Übertragung physikalischer Aspekte und Gesetzmäßigkeiten der realen in die virtuelle Welt. (Gruber, 2015, S. 11)

Physikalische Grundgesetze, wie zum Beispiel Schwerkraft, Einwirkungen von Kräften, Bewegungen, etc. müssen mit der realen Welt übereinstimmen. Um das Präsenzerleben noch zu erhöhen, sollten Audioelemente eingebunden werden (vgl. Gruber, 2015, S. 11; Bauer, 2013, S. 57; Nachbagauer & Schirl, 2013, S. 259).

Das psychische Gefühl, Teil der virtuellen Welt zu sein, wird als Immersion bezeichnet (vgl. Bigl, 2016, S. 110). Werden mehrere Sinne wie zum Beispiel Sehen, Hören und Fühlen angesprochen, so ist von einer starken Immersion auszugehen. Selbstverständlich ist der Grad der Immersion vom Empfinden und der „persönlichen Konstitution und Disposition“ des Nutzers der virtuellen Realität abhängig (vgl. Bauer, 2013, S. 55; vgl. Pietschmann, 2014, S. 23).

3.10 Virtuelle Lernräume und Lernorte

Wittwer, Diettrich und Walber (2015, S. 7) bemängeln, dass in der Literatur „Lernräume“ nur eine geringe Aufmerksamkeit genießen „und – vor allem – kaum empirische Untersuchungen“ zu diesem Themengebiet vorliegen. Gerade der Lernraum ist ein wesentlicher Parameter zur Ermöglichung von individualisiertem Lehren und Lernen.

Nach Kaiser (2015, S. 108) sind neben den pädagogischen und fachlichen Fertigkeiten des Lehrenden und den Lehrmaterialien, die didaktischen Anforderungen entsprechen und einen methodischen Aufbau aufweisen sollten, auch ganz bestimmte Anforderungen an einen Lernraum zu stellen. Idealerweise sollten am Lernort verschiedenste „Präsentationsformen wie Tafel – Kreide oder Notebook – Beamer“ (ebd., S. 108) zur Verfügung stehen, um diese bei Bedarf einsetzen zu können. Kaiser (ebd., S. 108) misst der Visualisierung sowie der Möglichkeit des selbstgesteuerten Lernens eine besondere Bedeutung zu.

Wo immer möglich soll der Lerninhalt visualisiert oder vergegenständlicht werden, zum Beispiel in Form von Modellen. [...] Nicht zuletzt muss auch dafür gesorgt sein, dass ein selbstgesteuertes Lernen abseits des Lehrbuches möglich ist. (Kaiser, 2015, S. 109)

Für Kaiser hat der physische Raum, in dem das Lernen stattfindet, „einen nicht unerheblichen Anteil am Lernerfolg“. (ebd., S. 108)

Rohs (2010, S. 40) unterscheidet zwischen formellen Lernorten, bei denen „eine klare Vorstellung konkret-räumlicher Gebilde dominiert“ und informellen Lernorten, welche nicht an örtliche Gegebenheiten gebunden sind. Somit steht nicht mehr der geographische Lernort im Fokus, sondern der „Raum“ oder der „Kontext“. Wittwer et al. (2015, S. 11) sprechen im Zusammenhang mit Bildung dann von einem Raum, wenn ein „multidimensionaler Bedeutungsgehalt“ gegeben ist. Neben dem materiellen Raum, welcher notwendige infrastrukturelle Einrichtungen zur Verfügung stellt (vgl. auch Kaiser, 2015, S. 106ff.), bedarf es auch eines sozialen Raumes, eventuell eines virtuellen Raumes, eines Orientierungsraumes, eines pädagogischen Raumes und eines Erfahrungsraumes (vgl. Wittwer et al., 2015, S. 11).

Diese Funktionen, können nach Schulmeister (2011, S. 182f.) auch von einem virtuellen Klassenzimmer übernommen werden. Die einfachste Form kann zum Beispiel die Präsentation von Folien über ein Bildschirmfenster sein. Ergänzend könnte dabei ein Chat- oder Telekommunikationsmedium zu Hilfe genommen werden. Schulmeister (ebd., S. 182) weist klar darauf hin, dass das Ziel von virtuellen Klassenräumen die synchrone Kommunikation sein sollte. Beim synchronen Lernen befinden sich Lernende und Lehrende zur gleichen Zeit an verschiedenen Orten. Es besteht die Möglichkeit, in Echtzeit zu kommunizieren (vgl. Haug, Schmidt & Wedekind, 2014, S. 82).

Walber (2015, S. 227) grenzt virtuelle 3D-Lernräume von virtuellen 3D-Welten, die „in erster Linie zum privaten ‘Socializing’ oder für Marketing Auftritte großer Unternehmen genutzt“ wurden, ab.

Außerdem verdeutlicht Walber (ebd., S. 227) die Relevanz und den Bedarf der gegenständlichen Untersuchung, denn im Gegensatz zu den privaten Anwendungsbereichen von virtuellen Welten wird „zunehmend versucht, konkretere Anwendungsfelder zu identifizieren und den positiven Nutzen dieser 3D-Welt zu testen.“ Bildungsanbieter, wie Universitäten, Volkshochschulen usw. nutzen den kostengünstigen Zugang von virtuellen „Objekten und Simulationen“. (ebd., S. 227) Im Vordergrund steht keinesfalls ein Computerspiel, sondern die „kreative Beteiligung an der virtuellen Welt“. (ebd., S. 227) Technisch hochwertig umgesetzte virtuelle Lernräume ermöglichen durch gezielte Einbettung von Sound oder anderen lebensnahen Wahrnehmungen ein ganzheitlicheres Raumerlebnis und die Gestaltung vielfältiger Lernprozesse. Walber (ebd., S. 227f.) kommt, wie auch der Autor dieser

Arbeit in Kapitel 2 näher beschrieben hat, zu dem Ergebnis, dass „in naher Zukunft empirisch geprüft werden [muss]“ [...] „[o]b sich die theoretischen Potenziale virtueller [...] Lernwelten in der pädagogischen Praxis mit einer hohen Lernwirksamkeit realisieren lassen.“

Zimmer (1999, S. 98ff.) geht hier einen Schritt weiter und definiert den Begriff des virtuellen Lernraumes sehr strikt, indem er die meisten Anforderungen als ein Muss vorgibt. Zimmer führt dabei sechs „Funktionsabteilungen“ an:

1. Angebot und Auskunft: Hier müssen die Lernangebote bereits kurz umrissen sein und der Ablauf, der Themenumfang, der zeitliche Rahmen, gewünschte Ergebnisse und etwaige Zertifikate müssen klar hervorgehen.
2. Planung und Verwaltung: Auch die Planung muss für den Lernenden klar und strukturiert dargestellt werden, dazu zählen auch Präsenzlisten, persönliche Hinweise und geschützte Informationen zum Lernverlauf.
3. Mediathek und Ergebnisse: Hier werden Lernmaterialien ständig aktualisiert und erweitert. Die Nutzung geschieht selbstverständlich über die Vergabe von Zugriffsrechten.
4. Schnittstellen und Anwendersoftware: Hier sollte der Lernende optimale Möglichkeiten vorfinden, um mit den gewünschten Anwendungsfeldern interagieren zu können.
5. Kommunikation und Kooperation: Hier fordert Zimmer nicht nur den Kontakt per E-Mail oder Chat ein, sondern legt besonderen Wert darauf, aktuelle Techniken wie zum Beispiel Audio- und Videokonferenzen zu nutzen.
6. Prüfung und Evaluation: Die Lernenden sollten die Möglichkeit haben, ihren Lernfortschritt jederzeit selbst überprüfen zu können. Für die Lehrenden sollten Tools zur Verfügung stehen, die es ermöglichen, auch ohne Programmierkenntnisse kompetenzorientierte Tests und Prüfungen zu erstellen.

In Deutschland haben sich zehn Fachhochschulen und zwei Universitäten im Rahmen eines Projektes zusammengeschlossen und zwei Online-Studiengänge entwickelt³⁴. Im Rahmen der Studienrichtung Medieninformatik wurden zwei Lernmodule namens „InfoPhysik“ zur Verfügung gestellt. Bei diesen Modulen werden physikalische Inhalte, die sowohl auf die reale als auch auf die virtuelle Welt zutreffen, unter didaktischer und

³⁴ <http://docplayer.org/61272990-Virtuelle-hochschulen-virtuelle-hochschulen.html>

methodischer Berücksichtigung zur Verfügung gestellt und es wird „insbesondere auf die speziellen Belange der Online-Lehre eingegangen.“ (Hannemann, 2004, S. 1, online) Das Ziel war es, physikalisches Grundlagenwissen zu vermitteln. Weiters wollte Hannemann, der Vizegesamtprojektleiter des Studiengangs Medieninformatik (ebd., S. 3ff.) mit der Verknüpfung der Physik der realen und der virtuellen Welt erreichen, dass sich die Teilnehmerinnen und Teilnehmer des Kurses „eine physikalische bzw. naturwissenschaftlich-logische Denkweise aneignen“. Er beabsichtigte den „Zugang zum naturwissenschaftlichen Weltbild, auf dem unsere Gesellschaft [...] beruht“, zu erleichtern. Zusätzlich sollte die Motivation, sich mit über das reine Fachgebiet der Informatik hinausgehenden Zusammenhängen zu befassen, gestärkt werden.“ (ebd., S. 5)

Für Hannemann (ebd., S. 3) ist der „Lernraum [...] im Wesentlichen ein Computerprogramm – oder eine Gruppe von Programmen – die es gestatten, das Lernangebot über das Internet den ‘Kunden’ (Studenten, Weiterzubildende) zugänglich zu machen.“ (ebd., S. 3) Der Lernraum wird je nach Rolle (Lehrerin oder Lehrer, Verwalterin oder Verwalter, Studentin oder Student) anders gesehen. In den Lerneinheiten werden multimediale Elemente, wie die soeben erwähnten virtuellen Lernräume, Simulationen, Animationen, Filme, Audiofiles, Quiz usw., eingesetzt.

3.11 Blended Learning

Wie die Bezeichnung „blend“ (engl.: verschmelzen, mischen, vermengen, blender = Mixer) schon vermuten lässt, stellt Blended Learning eine Kombination von E-Learning und konservativen Lernmethoden dar (vgl. Baumgartner, 2008, S. 11; Mandl & Winkler, 2004, S. 21; Wolter, 2007, S. 125; Thordarson, 2014, S. 1; Fülöp, 2015, S. 9). Mehrheitlich zielen sowohl englisch- als auch deutschsprachige Definitionen auf die „Vermischung“ von Lehr- und Lernmethoden ab:

Within those results are many definitions but most agree that blended learning is a hybrid educational model where students are learning through traditional classrooms along with an online component.
(Thordarson, 2014, S. 1)

Eine umfangreiche Definition lässt sich bei Moriz (2008, S. 22) finden:

Theoretische Grundlagen

Unter Blended-Learning versteht man, das nach didaktischen Gesichtspunkten zu erstellende, Arrangement von Präsenz- und E-Learningphasen, die einander unterstützen und ergänzen. Diese didaktische Konzeption des computerunterstützten Unterrichts obliegt der Verantwortung und Kompetenz des/der Lehrenden. Damit erreicht das E-Learning den Stellenwert eines zusätzlichen Mediums bzw. einer zusätzlichen Methode für das Unterrichtsgeschehen.

Zu den verbal formulierten Definitionen finden sich in der Literatur auch noch grafische Modelle zur Beschreibung von Blended Learning:

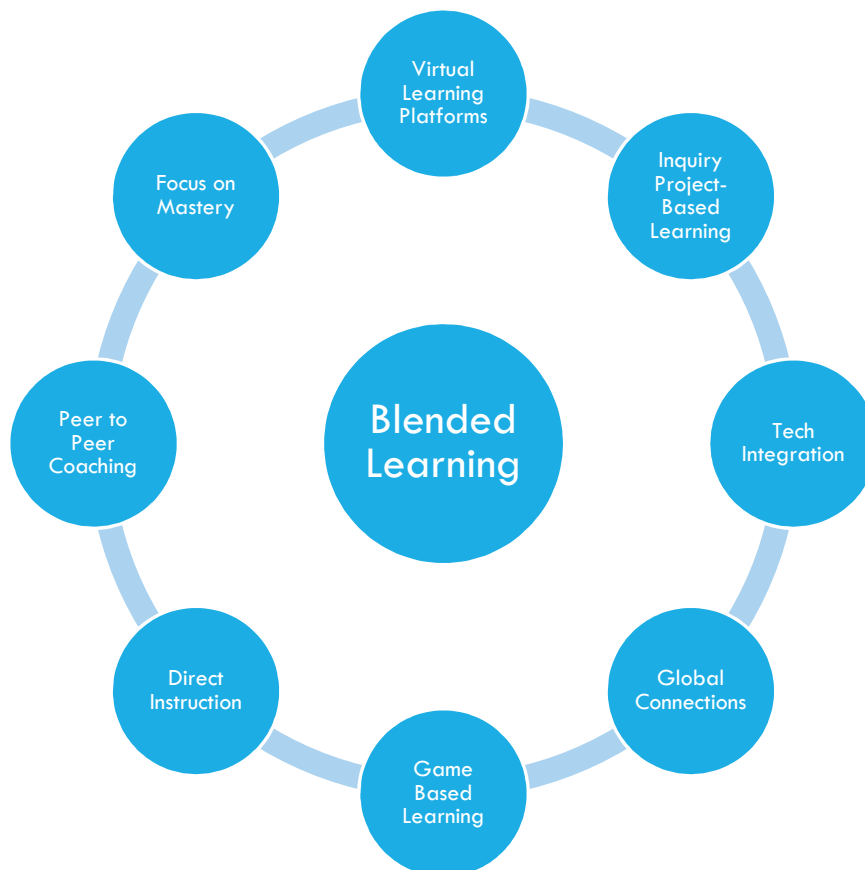


Abbildung 24: Blended Learning (vgl. Thordarson, 2014, S. 1)

Pachner (2009, S. 65f.) teilt die bisher beschriebenen Definitionen von Blended Learning, setzt aber den Terminus „blends“ auch mit Veredelung gleich.

Im angloamerikanischen Raum werden auch die Begriffe „Hybrid Teaching“ oder „Integrated Learning“ verwendet (vgl. Caulfield, 2011, S. 3ff.). Caulfield geht hier einen Schritt weiter und versteht unter dem Begriff „hybrid“ auch, dass manchmal die Rollen

zwischen Lehrperson und Lernendem (Schülerin und Schüler) fließend wechseln können.

[...] in which the roles of teacher and learner are fluid – sometimes the teacher takes the role of learner and sometimes the learner takes the role of teacher [...] (Caulfield, 2011, S. 3)

Nach Wolter (2007, S. 125) ist es auf Grund der vielen verschiedenartigen Definitionen von Blended Learning nicht möglich, eine eindeutige Begriffserklärung zu finden.

Die Definitionen von BL sind so zahlreich wie der Begriff schwammig ist. (ebd., S. 125)

Als Vorteile sieht Wolter, dass Kommunikation, Informationsbeschaffung und Wissensaustausch unabhängig von Ort und Zeit möglich sind und gleichsam auch klassische Präsenzseminare stattfinden. Die Gestaltung des Kursaufbaus obliegt also der Kursleiterin oder dem Kursleiter. (ebd., S. 126)

Nach Baumgartner (2008, S. 12) darf Blended Learning allerdings nicht als additive Aneinanderreihung von Präsenzphasen und E-Learning Phasen gesehen werden. Bei der didaktischen Aufbereitung und dem Aufbau von Blended Learning Kursen sind die Schnittstellen, die zeitliche Reihenfolge, die Dauer und Kombination der einzelnen Phasen zueinander von besonderer Relevanz.

Laut Baumgartner (ebd., S. 13f.) sind für die didaktische Gestaltung von Blended Learning Arrangements vier Aspekte besonders bedeutsam:

- 1) Lernziele: Die oder der Lernende muss von Beginn an klar über die Lernziele informiert sein und am Erreichungsgrad dieser gemessen werden. Dabei muss die Blended Learning-Einheit stets die angestrebten Lernziele in den Fokus stellen. Auch die Überprüfung des Lernerfolgs muss zu diesen Lernzielen kongruent sein.
- 2) Lernzeit: Die von der Lehrerin oder vom Lehrer zur Verfügung gestellte Lernzeit muss alle „notwendige[n] Aktivitäten wie Lesen, Teilnahme an Präsenzveranstaltungen, Vorbereitung für Prüfungen, die Prüfungszeit selbst und natürlich auch die Zeiten für Hausarbeiten, Übungen, Online-Aktivitäten sowie die Beteiligung an Foren, Chats, Entwicklung von Inhalten in einem Wiki, etc.“ berücksichtigen. (ebd., S. 13)

- 3) Rücksichtnahme auf das Curriculum: Das Curriculum gibt die didaktischen Gestaltungsmöglichkeiten und Zeitverhältnisse zwischen Präsenz-, E-Learning- und Selbstlernphasen vor.
- 4) Modularisierung: Kleinere Lerneinheiten sind gut überschaubar, leichter kombinierbar.

Kraiger (2009, S. 12) beschreibt in seiner Dissertation, dass „Blended Learning“ seit der Jahrtausendwende in der Sekundarstufe I sukzessiv Einzug in den Schulen gehalten hat. Die rasante Entwicklung hat in der Wirtschaft begonnen und konnte sich aufgrund der verbesserten Internet-Technologien immer mehr durchsetzen.

Diese Aussage wird von Mürner, Pollex und Tschopp auch im Jahr 2015 (S. 39) bestätigt. Ihrer Studie zufolge verläuft „[d]ie Integration neuer Lernformen und Lerntechnologien in der Lehrpraxis [...] am aussichtsreichsten mittels Blended Learning.“ Lernende akzeptieren Blended Learning vor allem dann, wenn ein individueller Lernnutzen erkannt werden kann (vgl. ebd., S. 39).

Unterrichtsrelevante, digitale Instrumente und Werkzeuge zur Umsetzung von Blended Learning sind zwar im Vormarsch, trotzdem gibt es noch viele Schulen, die weder E-Learning noch Blended Learning umgesetzt haben (vgl. Kraiger, 2009, S. 12). Kraiger kommt 2009 zu der Schlussfolgerung, dass „zu schulischen E-Learning Prozessen [...] dementsprechend wenige wissenschaftliche Untersuchungsergebnisse [existieren], viele Studien beziehen sich primär auf die Hochschullehre sowie auf die Fortbildung von MitarbeiterInnen in der Wirtschaft.“ (ebd., S. 12f.)

Ein Jahr später (2010, S. 171ff.) führten Ferdinand und Sander die Studie „E-Learning im naturwissenschaftlichen Unterricht – ein Blended Learning-Angebot zur kognitiven Lernförderung auch wenig interessierter SchülerInnen“ durch. Sie meinten, dass Schülerinnen und Schüler unterer Kompetenzbereiche gerade beim naturwissenschaftlichen Lernen optimaler Unterstützung bedürfen, da das Interesse „eine wichtige emotional-affektive Bedingung für das Verstehen und das (Weiter-) Lernen“ ist. (ebd., S. 171ff.) Als wichtigen Grund für den Verlust von Interesse sehen Ferdinand und Sander (ebd., S. 171) die „vorherrschende[] problematische[] Unterrichtskultur in den Naturwissenschaften, die zu wenig Wert auf das Interesse und das Verstehen legt. Sie ermöglichten in ihren Online-Lernumgebungen das

selbstorganisierte Lernen, bei dem schülerinnen- und schülereigene Interessen artikuliert werden konnten. Naturwissenschaftliche Versuche (virtuelle Experimente) konnten „zielgerichtet mit den Werkzeugen der Lernumgebung [...] selbst organisiert“ werden. (ebd., S. 176) Das E-Learning-Tool war so beschaffen, dass die Experimente altersgemäß, aber leistungsmäßig differenziert durchgeführt werden konnten. Damit bestimmten die Schülerinnen und Schüler ihren Lernweg nach freiem Willen individuell. Allerdings war es durch den personalisierten Zugang möglich, eine nach dem Schwierigkeitsgrad gestaffelte Abfolge von Experimenten vorzugeben. Erst wenn das Anfängerexperiment vollständig gelöst wurde, konnte im Kontext weitergegangen werden – dies sollte die Lernenden intrinsisch motivieren. Zu jeder Phase des Experimentes konnten die Schülerinnen und Schüler über „die thematische Richtung und die Intensität [der] Experimentieraktivitäten“ entscheiden. (ebd., S. 176) Die Studie zeigte, dass durch das selbstgesteuerte Lernen sowohl Leistungsstärkere, als auch Schülerinnen und Schüler mit ungünstigen Lernvoraussetzungen umfassende Verbesserungen aufweisen konnten. Gerade im affektiven Bereich bewirkte das selbstgesteuerte hybride Lernen auch bei desinteressierten Schülerinnen und Schülern eine höhere subjektive Wertschätzung und ein positives Erleben während der Bearbeitung von naturwissenschaftlichen Aufgabenstellungen.

Zusammenfassend hat die Studie gezeigt, dass naturwissenschaftliche Grundbildung mit dem untersuchten hybriden Ansatz zum SGL [selbstgesteuertes Lernen], der praktisches Experimentieren mit eLearning-Komponenten zur Unterstützung der Selbststeuerung der SchülerInnen synergetisch verbindet, umfassend sowohl kognitiv wie affektiv verbessert werden kann. Dies gelingt auch bei desinteressierten SchülerInnen, die kein oder nur geringes Interesse an Naturwissenschaften aufweisen. Der blended-learning Ansatz ermöglicht in diesem Fall das forschende Lernen, dessen Folge es ist, dass sich auch desinteressierte Schülerinnen und Schüler für den naturwissenschaftlichen Fachbereich zu interessieren beginnen. (Ferdinand & Sander, 2010, S. 181)

Aus dem vorerst nur situationalen Interesse kann sich ein dauerhaftes dispositionales Sachinteresse entwickeln (vgl. Rachel, 2013, S. 74; Ferdinand & Sander, 2010, S. 181).

Um diese Forschungsergebnisse abzusichern, empfehlen Ferdinand und Sander (ebd., S. 184) weitere Längsschnittstudien durchzuführen.

3.12 Technologiegestütztes lebenslanges Lernen

Die Behörde für Bildung und Sport in der Hansestadt Hamburg führte 2004 in einer Online-Broschüre mit dem Titel „Nachhaltigkeit, Neue Medien und lebenslanges Lernen“ als Bildungsziel die Förderung einer Wissensgesellschaft an, „die ihre Lebensgrundlagen aus reflektiertem und bewertetem Wissen gewinnt“ im Gegensatz zu einer reinen Informationsgesellschaft.

Kein Bildungssystem kann eine vollständige Stoffvermittlung als Ziel betrachten oder gar gewährleisten, viel wichtiger ist es, das Verstehen grundlegender Zusammenhänge zu fördern. Aufgrund der ständigen Veränderungen der Wissensgesellschaft hat „die Schule [...] die Notwendigkeit lebenslangen Lernens in ihrem Bildungs- und Erziehungsauftrag zu berücksichtigen.“ (Behörde Hansestadt Hamburg für Bildung und Sport, 2004, S. 6)

Daher muss in unserem Schulsystem neben den traditionellen Kulturtechniken (Lesen, Schreiben, Rechnen) auch eine weitere Kulturtechnik, nämlich der Umgang mit den neuen Informations- und Kommunikationstechnologien, Einzug halten.

Auf Grund der ständigen Veränderungen der Lernanforderungen haben Lehrerinnen und Lehrer für effektive Lernumgebungen zu sorgen, um den Lernenden die Techniken für lebenslanges Lernen zu vermitteln (vgl. Bildungs- und Erziehungsauftrag, Behörde Hansestadt Hamburg für Bildung und Sport, 2004, S 6ff.)

Auch nach Friedrich (2012, S. 53ff.) haben neue Technologien das Potential, Schülerinnen und Schüler zum lebenslangen Lernen zu motivieren. Gemeinsam mit sechs Partnerschulen entwickelte sie für die Fächer Deutsch, Mathematik und Sozialkunde „zahlreiche Lernszenarien mit dem Handy“. (ebd., S. 55) Das „didaktische Design [bestand] darin, situiertes Lernen im lehrergeleiteten Unterricht [...] zu ermöglichen.“ (Friedrich, 2012, S. 56)

Auch in der vorliegenden Studie bleibt die Organisationsstruktur des Unterrichts erhalten, allerdings wird der Unterricht durch die Anwendung von virtuellen Versuchen unterstützt.

Für Friedrich ist die Vernetzung von theoretischen Lerninhalten und die Herstellung eines Praxisbezugs wesentlicher Faktor zur Motivationssteigerung.

Wichtig für den geistigen Brückenschlag vom Alltag zum scheinbar rein theoretischen Lernstoff ist jedoch die Erfahrung der Schüler/innen, dass das Thema mit ihnen selbst etwas zu tun hat.
(Friedrich, 2012, S. 57)

Friedrich (ebd., S. 54) bestätigt in ihrer Studie alle sechs didaktischen Eckpunkte von Bachmair (2011, S. 317ff.) für die „Planung und Analyse des Unterrichts mit dem Handy“ und weitet ihr Konzept auch auf andere mobile Medien, wie Notebook, Tablet, usw. aus (vgl. Friedrich, 2012, S. 53).

- Informelles Lernen in die Schule integrieren: Das Handy kann als Schnittstelle zwischen dem Alltagsleben und dem Schulleben der Schülerinnen und Schüler fungieren. Der Bezug zum außerschulischen Leben der Kinder und Jugendlichen erleichtert die Einbindung in die bekannte Lernumgebung.
- Episoden situierten Lernens schaffen: Durch Zuhilfenahme des Handys ist es möglich, neue Formen des situierten Lernens zu verwirklichen. „Lernen ist eine kulturelle Form der Herstellung von Bedeutungen, in der sich Kinder oder Jugendliche je nach der dominierenden Situation etwas aneignen, weil sie selber Objekten, Emotionen, Vorgängen, Gesprächspartnern und deren Aussagen oder Texten und Medien Bedeutung verleihen.“ (ebd., S. 318) Die Lehrerin oder der Lehrer führt die Schülerin oder den Schüler zwar durch „die Lernstraße“ – der Kontext zur Lebensumwelt bleibt durch das auch im außerschulischen Bereich verwendete Gerät aber allgegenwärtig.
- Lern- und Medienkontexte generieren: Durch das Handy ist es möglich, neue Lernkontexte zu schaffen. Diese Effekte treten „an der Schnittstelle der Medienkonvergenz von Internet, Unterhaltungsmedien der Lebenswelt und der Schule“ auf. (ebd., S. 319) Wissen wird nicht einfach übernommen, sondern Schülerinnen und Schüler schaffen es, sich selbst Wissen zu besorgen. Lernen ist nicht mehr an einen realen Lernort gebunden.
- Kommunikationsbrücken und -ketten schaffen: Lernen dient nicht mehr dem Selbstzweck, Kommunikationsbrücken ermöglichen kollaboratives Lernen.

Hausaufgaben können basierend auf Kommunikationsketten, per Tablet oder Notebook bearbeitet werden.

- Schülerinnen und Schüler als Expertinnen und Experten ihres Alltagslebens individuell aktiv werden lassen: Da die Informationsquelle nicht auf die Schule beschränkt ist, beschäftigen sich die Schülerinnen und Schüler über das Handy auch im Alltag mit relevanten Lerninhalten.
- Sensible Entwicklungs- und Lernkontexte schaffen: Den von Schülerinnen und Schülern generierte Lerninhalt sollte die / der Lehrende „nutzbringend in die Lernsituation integrieren. Dabei gilt es genau hinzusehen und zu entscheiden, welche Themen sich zum Nutzen der jeweiligen Kinder aufgreifen lassen. Auch Handy, Smartphone und Tablet müssen sich daran messen lassen, ob sie die Entwicklung der Kinder und Jugendlichen fördern.“ (ebd., S. 319)

Für die gegenständliche Untersuchung stellen die oben genannten Forderungen von Friedrich einen didaktischen Rahmen dar. Virtuelle Experimente sollen so angelegt sein, dass sie Bezug zum Lehrplan der jeweiligen Schulstufe nehmen, in die Lebenswirklichkeit der Schülerinnen und Schüler integriert werden können und auf ihr situatives Interesse Rücksicht nehmen.

Kraewing (2017, S. 65) geht davon aus, dass das „Internet der Dinge“³⁵ in naher Zukunft immer mehr zu unserer Lebenswirklichkeit gehören wird. Bereits heute findet „[d]er größte Teil von Informationsbeschaffung [...] online statt – privat, politisch, im Arbeitsleben und auch in der Wissenschaft.“ (Klauß & Mierke, 2017, S. 104) In der Bildung werden durch „smarte Objekte“³⁶ neue Formen von Wissensvermittlung und Wissenserwerb möglich (vgl. Kirstein, Hornecker, Grossmann und Nordmeier, 2015, S. 1).

Smarte Objekte [...] kombinieren mechanische, sensorische, elektrische und informationstechnische Komponenten und sind in der

³⁵ Unter dem „Internet der Dinge“ versteht man eine Vision, in der „das Internet in die reale Welt hinein verlängert wird und viele Alltagsgegenstände ein Teil des Internets werden. Dinge können dadurch mit Informationen versehen werden oder als physische Zugangspunkte zu Internet Services dienen, womit sich weiterreichende und bis dato ungeahnte Möglichkeiten auf tun.“ (Mattern & Flörkemeier, 2010, S. 107)

³⁶ „Smarte Objekte sind [...] digitale Objekte, welche in einem Netzwerk agieren und dazu in der Lage sind, ihre Umgebung zu verarbeiten und wahrzunehmen.“ (Wildbühler, Stelzer, Schiebel, & Brecht, 2016, S. 322)

*Lage drahtgebunden oder drahtlos, sowohl untereinander als auch mit einer übergeordneten Dateninfrastruktur, zu kommunizieren.
(Schlenker, 2015, o. S., online, Fraunhofer IPA)*

Digitale Lernangebote sollten bedarfsorientiert und personalisiert angeboten werden (vgl. Wallmüller, 2017, S. 161), die Möglichkeit bieten, Hypothesen zu überprüfen und „grundlegende praktische Fertigkeiten, die in allen naturwissenschaftlichen, technischen oder medizinischen Fachdisziplinen essentiell sind“, zu trainieren. (Kirstein et al., 2015, S. 1)

Da gerade in einer technik- und wissensorientierten Lebenswelt das Innovationstempo enorm ist, sind flexible Ausbildungsmöglichkeiten sowie „effiziente Formen lebenslange[r] Weiterbildung“ notwendig (Kirstein et al., 2015, S. 1), denn [l]ebenslanges Lernen ist [...] Antwort auf gesellschaftliche, politische, ökologische Ereignisse, auf sozioökonomische und soziokulturelle Veränderungen.“ (Siebert, 2011, S. 103)

Aus diesem Grunde setzen auch Hochschulen verstärkt digitale Medien ein, um den Studierenden „in Höchstgeschwindigkeit“ benötigte Lerninhalte mehrdimensional zur Verfügung stellen zu können (vgl. Maier, 2003, S. 46).

Reale Versuchsinstrumente sind mit enormen finanziellen Aufwendungen verbunden. Optimalerweise lassen sich durch digitale interaktive Lösungen effiziente Aus- und Weiterbildungskonzepte erreichen, die „das reale Experimentieren unterstützen und [...] die aufwendige (und daher seltene) praktische Erfahrung durch praxisnahe interaktive Angebote im Digitalen möglichst nahtlos ergänzen.“ (Kirstein et al., 2015, S. 1)

Obwohl die Umsetzung interaktiver Experimente Erfahrungen und Erkenntnisse zulässt, die mit herkömmlichen Mitteln niemals erreicht werden können, sind computerbasierte Versuche, die auf Simulationsumgebungen beruhen, nicht in der Lage, reale Phänomene tatsächlich darzustellen oder die manuellen im Labor notwendigen Fertigkeiten zu trainieren (vgl. ebd., S. 4).

Ein möglicher Ausweg aus diesem Dilemma ist der verstärkte Einsatz von „Mixed-Reality-Experimentierumgebungen.“ Virtuelle Versuchsaufbauten unterstützen in einem didaktischen Netzwerk Lernende im Labor. Auch die Ermöglichung von eigenen virtuellen Experimenten über eine „webbasierte Infrastruktur [...] leiste[t] damit einen Beitrag zum lebenslangen Lernen [...]“. (ebd., S. 1f.)

Kirstein et al. (ebd., S. 3f.) haben die Vision, dass Studierende durchgeführte interaktive Experimente in Form eines Portfolios dokumentieren.

Damit wird das Praktikumsexperiment zum Begleiter auf einem lebenslangen Bildungsweg und ermöglicht auch noch in der Berufspraxis anschauliche Rückgriffe auf grundlegende Ergebnisse erfahrungsbasierten Lernens mit dem Experiment im Praktikum oder Training. (Kirstein et al., 2015, S. 4)

Durch den mobilen und zeitlich unabhängigen Zugang ist es auch nach dem Schul- oder Studienabschluss möglich, auf Lerninhalte zuzugreifen. Dies wiederum fördert das lebenslange Lernen (vgl. ebd., 4f.), denn im Idealfall stehen die webbasierten Inhalte dem Lernenden immer zur Verfügung (vgl. Arnold, Kilian, Thillosen & Zimmer, 2013, S. 76f.).

Nach Riegler (2015, S. 9) spielt der Zugang zu digitalen Medien im Bildungswesen eine wesentliche Rolle und muss eine Reaktion auf die rasante Entwicklung von neuen Technologien sein. Nur so können Schülerinnen und Schüler auf die neue Lebenswirklichkeit vorbereitet werden.

Für sie (ebd., S. 19) ermöglichen Web 2.0 Anwendungen, welche nicht mehr unidirektional aufgebaut sind, sondern auch zum Produzieren von Inhalten genützt werden sollen, im schulischen Bereich die Möglichkeit, lebenslanges Lernen zu forcieren.

Für den schulischen Kontext bieten Web 2.0 und die Anwendung von Social Software bei selbstorganisiertem, kollaborativem und informellem Lernen großes pädagogisches Potenzial in Hinblick auf das geforderte lebenslange Lernen, allerdings müssen bei Lehrenden die Befürchtungen des Kontrollverlustes über Inhalte und Lernende erst ausgeräumt werden. (Riegler, 2015, S. 9)

Die Bedeutung des lebenslangen Lernens wird auch von der Europäischen Union untermauert. Lebenslanges Lernen ist für eine Wissensgesellschaft von essentieller Bedeutung, denn Menschen, die mit dieser Einstellung aufwachsen, „sind ein Gewinn für den Arbeitsmarkt, den sozialen Zusammenhalt und den aktiven Bürgersinn, denn [sie zeichnen sich aus durch] Flexibilität, Anpassungsfähigkeit, Zufriedenheit und Motivation.“ (Eur-Lex, 2011, o. S., online) Im Rechtsakt 2006/962/EG des

europäischen Parlamentes werden acht Schlüsselkompetenzen für lebensbegleitendes Lernen festgehalten. Eine dieser Kompetenzen ist die Computerkompetenz, welche den sicheren aber auch kritischen Umgang mit den Technologien der Informationsgesellschaft (TIG) und die Beherrschung der Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) meint. Eine weitere ist die eigenständige Lernkompetenz, die es ermöglichen soll, nach eigenen Methoden und Möglichkeiten zu lernen (vgl. Eur-Lex, 2011, o. S., online).

3.13 Motivation

Neue Medien müssen selbstverständlich – wie jedes Instrumentarium im Unterricht – gut geplant und für die Schülerinnen und Schüler fachgerecht abgestimmt werden. Dabei sollte insbesondere auf Vorwissen, Motivation, Lernstrategien und Medienkompetenzen Rücksicht genommen werden (vgl. Jürgens & Petko, 2014, S. 114; Grunder, Finger, Romanyuk, Sommer & Raemy, 2013, S. 34).

Lernende sollten durch den Einsatz von Medien keinesfalls über- oder unterfordert werden (vgl. Jürgens & Petko, 2014, S. 114; Mathes, 2011, S. 19; Körndle, 2006, S. 3). Wichtig ist auch hier, dass durch gezielte Vorbereitung bereits vorhandenes Wissen beim Lernenden dazu genützt wird, Anknüpfungspunkte für neues Wissen zu finden (vgl. Kircher et al., 2015, S. 404).

*Der Unterricht muss also an den Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler anknüpfen und ihre Eigenaktivitäten fordern und fördern.
(Kircher et al., 2015, S. 658)*

Lernaufgaben sind optimalerweise gerade so schwer, dass sie mit didaktischer Unterstützung gerade noch erfolgreich gelöst werden können. Dabei müssen die zur Verfügung gestellten Unterrichtsmedien die Heterogenität der Lernenden unterstützen, sodass Aufgaben auch mit ungleichem Vorwissen erfolgreich absolviert werden können (vgl. Jürgens & Petko, 2014, S. 114; Kircher et al., 2015, S. 846).

Weiters führen die Autoren Jürgens und Petko an, dass im Idealfall die Auseinandersetzung mit dem Lernmedium aus eigenem Antrieb erfolgt (intrinsische Motivation) und nicht aufgrund von externen Faktoren (extrinsische Motivation). Dann wäre das Medium so motivationsförderlich, dass an bestehende Interessen angeknüpft

und sogar neues Interesse geweckt werden könnte. Diese Forderung lässt sich zum Beispiel durch Autonomieerleben (durch die Lernmedien stehen mehrere Lernwege offen) und durch soziale Eingebundenheit (Lernmedien können gemeinsam bearbeitet werden) erreichen (vgl. Jürgens & Petko, 2014, S. 114f.).

Auch wenn zu Beginn einer Lerneinheit die Motivation noch nicht besonders hoch sein kann, ist es möglich, Motivation mit einer Berücksichtigung der genannten Aspekte [Autonomieerleben und soziale Eingebundenheit] zu fördern. (Jürgens & Petko, 2014, S. 114f.)

Im Jahr 2011 hat der BITKOM³⁷ (S. 1ff.) 500 Schülerinnen und Schüler im Alter von 14 bis 19 Jahren sowie 501 Lehrerinnen und Lehrer der Sekundarstufe I zu Auswirkungen des Einsatzes digitaler Medien im Unterricht befragt. 75% der Lehrerinnen und Lehrer waren der Meinung, dass „die Schüler durch den Medieneinsatz motivierter sind.“ (ebd., S. 1). 77% der Pädagoginnen und Pädagogen waren der Meinung, dass sie durch Zuhilfenahme von „PC und Internet individueller auf die einzelnen Schüler eingehen können“. Aus Sicht des Präsidenten des BITKOM Prof. Dr. Scheer „sind digitale Medien unerlässlich, um moderne Unterrichtskonzepte umzusetzen.“ (ebd., S. 1; vgl. auch Martiny, 2002, S. 60) Seiner Argumentation nach sind die Vorteile von Computer, Internet und intelligenter Lernsoftware mannigfaltig. So bieten „Lernprogramme und Lern-E-Books [...] mehr Flexibilität als herkömmliche Bücher oder Arbeitsblätter.“ (ebd., S. 1) Die Schülerinnen und Schüler haben durch die Lernsoftware die Möglichkeit, ihr Lerntempo individuell zu gestalten (vgl. Martiny, 2002, S. 80) und erfahren in vielen Fällen unmittelbar nach Absolvierung der Aufgabenstellung ihr Ergebnis, da das Lernprogramm bearbeitete Aufträge unmittelbar auswerten kann (vgl. Bitkom, 2011, S. 1).

Wodzinski (2014, S. 39f.) geht von einer Steigerung der Motivation aus, wenn die Möglichkeit gegeben ist, zwischen verschiedenen Aufgaben zu wählen. Dies kann durch die Selbsteinschätzung des Schwierigkeitsgrades oder durch die Tempodifferenzierung erfolgen (vgl. ebd., S. 40). Martiny (2002, S. 60) beschreibt, dass „durch den Einsatz der Neuen Medien die Motivation der Schülerinnen und

³⁷ Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und Neue Medien

Schüler [...] [ge]steiger[t] [wird, da] mit ihnen (den Medien) mehr Möglichkeiten bestehen, produktiv tätig zu werden.“

Digitale Medien ermöglichen außerdem die Miteinbeziehung außerschulischer Lernmaterialien – Fotos oder Filme lassen die Stoffgebiete interessanter werden.

Diese Einschätzungen lassen sich auch von Schülerinnen- und Schülerseite belegen, denn

92 Prozent der befragten Schüler sagen, dass elektronische Medien den Unterricht interessanter machen. 79 Prozent sind der Ansicht, dass sie zu einem besseren Verständnis der Lehrinhalte beitragen. Deshalb wünschen sich 84 Prozent der Schüler, dass digitale Medien verstärkt im Unterricht eingesetzt werden. (BITKOM, 2011, S. 2)

Scheer plädiert daher dafür, dass die Schulbehörden den Einsatz neuer Medien forcieren sollten. Zusätzlich muss auch an der Weiterbildung der Lehrerinnen und Lehrer gearbeitet werden, denn die Umfrage brachte auch zu Tage, dass „nur die Hälfte der Lehrer in den vergangenen drei Jahren an einer Fortbildung teilgenommen [hat], die den Einsatz neuer Medien zum Thema hatte.“ (BITKOM, 2011, S. 3)

Diese Forderung ist nicht neu, denn bereits im Jahr 2006 zeigten Herzig und Grafe (S. 95) auf, dass den „Lehrerinnen und Lehrern im Bereich der Medienpädagogik eine grundlegende Aufgabe und Rolle zukommt.“ Sie wiesen ausdrücklich auf die Notwendigkeit einer adäquaten Ausbildung und Fortbildung hin.

Baumgartner und Erber (2013, S. 7) sind der Auffassung, dass bei Jugendlichen ein hohes Motivationspotenzial bei der Verwendung von Neuen Medien besteht. Allerdings bedarf es eines didaktischen Konzepts, damit die Motivation auch in den Unterricht transferiert werden kann.

Der Lösungsansatz müsste darin bestehen, die vorhandenen Medienkompetenzen, Lern- und Mediennutzungspersönlichkeiten der Jugendlichen lernwirksam in offene Lern- und Unterrichtsszenarien zu integrieren. (Baumgartner & Erber, 2013, S. 7)

Es darf aber keinesfalls davon ausgegangen werden, dass der bloße Einsatz von Medien direkte Effekte auf das Lernen hat. Neue Medien sind sozusagen „ein Rohstoff, der Potenziale für bestimmte Innovationen in der Bildung eröffnet, die jedoch einer dezidierten Planung und Konzeption bedürfen.“ (Kraft, 2003, S. 7) Nach Kraft (ebd.,

S. 7) geht die Wirkung nicht vom Medium selbst aus, sondern von dem dahinterliegenden didaktischen Konzept. Somit ist es nicht sinnvoll, wenn ein bereits bestehendes didaktisches Konzept einfach übernommen wird und dem neuen Medium übergestülpt wird. Innovativ wird Lernen erst dann, wenn mit einem neuen Medium auch ein neuer didaktischer Plan einhergeht. Aus mediendidaktischer Sicht sollte gestaltungsorientiert vorgegangen werden und der „Prozess von Konzeption, Entwicklung, Einführung, Durchführung und Evaluation“ in den Vordergrund gestellt werden (vgl. ebd., S. 8ff.).

Da Medienkompetenzen bei den Schülerinnen und Schülern bereits vorhanden sind, kann die aktive Einbindung von Neuen Medien als Lehrmittel motivationsfördernd wirken (vgl. Baumgartner & Erber, 2013, S. 7).

Herzig (2014, S. 13) sieht aber genau im diesem Punkt das Problem, denn seinen Ausführungen zufolge sind diese motivationalen Effekte zum Teil nur zeitlich begrenzt und die Motivation nimmt mit dem Grad der Routiniertheit im Umgang mit den technischen Geräten ab.

*Allerdings ist hierbei zu konstatieren, dass motivationale Effekte häufig Novitätseffekte sind, die im Verlaufe der Zeit abflachen können.
(Herzig, 2014, S. 13)*

Auch Mayrberger (2012, S. 162) beschreibt, dass der alleinige Einsatz von Neuen Medien zur Steigerung der Motivation im Unterricht zu wenig wäre. Um dem soeben angeführten Novitätseffekt nicht zu unterliegen, empfehlen Schuhen und Froitzheim (2014, S. 1ff.) die gezielte Verschränkung von Fachdidaktik und Neuen Medien. Insbesondere müssen fachdidaktische Prinzipien und Konzepte neu überdacht, Unterrichtsinhalte in passender Form für die Schülerinnen und Schüler aufbereitet, adäquate Aufgaben zum Unterrichtsfach gestellt und ein schülerinnen- und schüleraktivierender, differenzierter und interaktiver Unterricht geboten werden (vgl. ebd., S. 1ff.).

Auch Kraft (2003, S. 7) spricht davon, dass auch in der empirischen Forschung erzielte Motivations- und Lernerfolgssteigerungen differenziert betrachtet werden müssen. So zeigen einige Untersuchungen, dass es tatsächlich zu einem Anstieg des Lernerfolgs kommt. Andererseits lassen diese Effekte in vielen Fällen nach kurzer Zeit wieder nach. Hier muss vom Neuigkeits- oder Novitätseffekt ausgegangen werden und nicht

von einem dauerhaften Anstieg von Lernmotivation oder Lernleistung (vgl. auch Guderian, 2007, S. 94; Müller & Hauser, 2014, S. 456; Kraiger, 2009, S. 158)

Nach Theyßen (2014, S. 70) lässt sich dieser Effekt nur bei Längsschnittstudien erkennen. Aus diesem Grund wird in der gegenständlichen Forschungsarbeit keine einmalige Erhebung durchgeführt, sondern – wie in Kapitel 4.2 näher beschrieben – die switching replications³⁸-Methode angewendet.

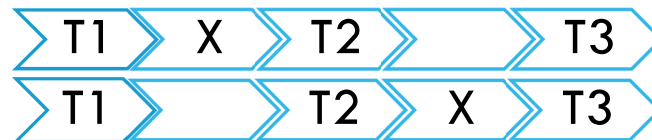


Abbildung 25: Switching replications-Methode

Zusätzlich wird bei der Durchführung der Studie speziell darauf geachtet, dass während des Treatments in Forschungs- und Kontrollgruppe eine vergleichbare Konzeption verfolgt wird, damit ein eventueller Novitätseffekt nicht nur einseitig auftritt. Da – wie in Kapitel 3.13.2 ausführlich beschrieben – aktuelle Motivation situationsabhängig auftritt, empfehlen Vollmeyer und Rheinberg (2003, S. 281ff.) und Langens und Schüler (2003, S. 100) die Testung der aktuellen, der Situation entsprechenden, Motivation. So hat auch bei der Durchführung von virtuellen Experimenten die gegenwärtige Situation wahrscheinlich maßgeblichen Einfluss auf die Motivationsfaktoren.

Dies macht deutlich, dass die Kenntnis eines Persönlichkeitsmerkmals allein kaum eine Vorhersage von Verhalten erlaubt – man muss auch etwas über die Situation und die Art der Aufgaben wissen, um Zusammenhänge zwischen dem Leistungsmotiv einer Person und ihrer Leistung zu finden. (Langens & Schüler, 2003, S. 100)

Weiters wird die Forderung von Theyßen (ebd., S. 74) eingehalten, nach der sich die unabhängige Variable nur in einem Bereich unterscheiden sollte. In der vorliegenden Arbeit ist das ausschließlich der verschiedenartige Medieneinsatz, nämlich einerseits der reale und andererseits der virtuelle Schülerinnen- und Schülerversuch. Die

³⁸ vertauschte Replikation

abhängige Variable, also die Motivationssteigerung, wird in allen Durchgängen mit identischen Tests (gleiche Fragestellung der Items) gemessen.

3.13.1 Motivationsbegriff

Rheinberg (2008, S. 14ff.) erklärt den Motivationsbegriff³⁹ unter Zuhilfenahme folgender Attribute: Es geht darum, Zustände wie inneres Wollen, Drängen, Gefesselt sein, Aktivierung, Ruhelosigkeit etc. bei der Erlangung eines Ziels zu erleben.

This purpose may be material, social or spiritual; but it is there. For achieving a goal, there is an inner restlessness, which activates an individual. This inner restlessness may be regarded as a motivation.
(Kaila, 2005, S. 599)

Der Grad der Aktivierung ist abhängig von der Unterrichtsform und davon, ob die Schülerin oder der Schüler persönlich angesprochen wird und einen emotionalen Bezug zum Thema herstellen kann (vgl. Schlag, 2012, S. 144).

Motivation kann nie unmittelbar festgestellt werden, wahrgenommen werden immer nur Anzeichen (z. B. Anstrengung und Ausdauer) (vgl. Rheinberg, 2008, S. 15).

First, motivation or intent cannot be observed directly; it can only be inferred from an individual's behavior. Second, the true motivation for a behavior cannot be ascertained by observing a single behavior that might be attributable to different motives. Third, if an individual's behavior can be observed in different situations that isolate the potential goals of the individual, its underlying motive reasonably can be inferred. (Allen, Porter & Angle, 2003, S. 496)

Jedem von uns ist dieses Selbsterleben „wohl vertraut“, und wir können daher von bestimmten Verhaltensauswirkungen bei anderen Personen auf Motivation schließen (vgl. Rheinberg, 2008, S. 15; DeCharms, 2011, S. 18).

Allen „[g]emeinsam ist [...] die Komponente einer aktivierenden Ausrichtung des momentanen Lebensvollzugs auf einen positiv bewerteten Zielzustand.“ (Rheinberg,

³⁹ Der Begriff Motivation lässt sich aus dem Lateinischen (in motivum ire) ableiten und bedeutet so viel wie „in das einsteigen, das den Menschen bewegt“. (Jähning, 2007, S. 4)

2008, S. 15) Trotzdem wird Motivation von jedem individuell erlebt und wahrgenommen (vgl. ebd., S. 15)

DeCharms (2011, S. 97) setzt den Begriff der Motivation sogar mit „so etwas wie eine[r] milde[n] Form der Besessenheit“, um unmittelbare Ziele durch eigenes Tun zu erreichen, gleich.

Fritz, Tobinski und Hussy (2010, 174f.) beschreiben eine Lernsituation von zwei Studenten, die eine gleiche äußerliche Lernumgebung vorfinden. Student A arbeitet sehr interessiert, da es sich um sein Lieblingsfach handelt. Er hat bereits gute Vorkenntnisse und kann den Lernstoff gut strukturieren. Nach der Lerneinheit hat er das Gefühl, einen Lernzuwachs erreicht zu haben.

Student B hat bereits schlechte Erfahrungen in diesem Fach gemacht und auf Grund vergangener negativer Bewertungen ist es für ihn ein „Angstfach“. Er hat Verständnisprobleme und muss Textpassagen immer wieder neu lesen. Er möchte den Stoffbereich nur gut genug beherrschen, um die anstehende Prüfung zu bestehen. Lernfreude kann er nicht empfinden.

Die Ausführungen von Fritz, Tobinski und Hussy machen deutlich, dass „emotionale und motivationale Prozesse jeden Teilprozess der Informationsverarbeitung beeinflussen.“ (ebd., S. 174; vgl. Weber, 2012, S. 38).

Das Thema Motivation wurde und wird in der Literatur immer wieder ausführlich behandelt (vgl. Niermeyer, 2007, S. 19; Rattay, 2013, S. 266; Schumacher, 2014, S. 3; Kaschak, 2015, S. 105). So räumt auch Ryan (1998, 114f.) in seinen Forschungen der Frage nach dem Antrieb menschlichen Handelns einen zentralen Stellenwert ein:

If there is a cornerstone in the science of human behaviour, it must be the field of motivation. Motivational theories ask a fundamental question, namely: What moves a person? Thus they are concerned with the prime forces at work in human nature and human culture. (Ryan, 1998, 114f.)

In einem aktuellen Bericht untermauert die OECD (2014a, S. 1) die Bedeutung der Motivation in Bezug auf das Lernen:

Motivation und Einsatzbereitschaft können als die treibenden Kräfte für das Lernen angesehen werden. [...] [F]ür die Zukunft der Schüler

müssen die Schulsysteme sicherstellen, dass die Schüler nicht nur über die nötigen Kenntnisse verfügen, [...] sondern auch das Interesse und die Motivation entwickeln, die dafür sorgen, dass sie dies tatsächlich möchten.

Auch Schlag (2012, S. 9) sieht einen direkten Zusammenhang zwischen der Motivation und der Freude am Lernen.

Lernen fällt dann leicht, wenn die Motivation stimmt. (ebd., S. 9)

Leitz (2014, S. 163) zeigt hierbei auf, dass die positive Einstellung zu einem Unterrichtsfach maßgeblich für die Lernfreude verantwortlich ist.

Das Konstrukt Lernfreude darf als motivationale Variable erachtet werden, da eine weitestgehende Übereinstimmung mit intrinsischer Motivation [...] nachgewiesen wird. (Leitz, 2014, S. 163)

Er geht weiters davon aus, dass der Lehrende einen größeren Einfluss auf die Lernmotivation hat als Mitschülerinnen und Mitschüler.

König (2010, S. 141) ist der Meinung, dass „echte Lernfreude eine der wichtigsten Ressourcen unserer Gesellschaft“ ist.

Gesellschaftliche Probleme sind auf mangelnde Lern- und Leistungsbereitschaft zurückzuführen (vgl. Schlag, 2012, S. 9f.). Fehlende Lern- und Leistungsbereitschaft, sowie fehlende Persönlichkeitsstärke und mangelnde Belastbarkeit in Verbindung mit psychosozialen Problemen werden als Hauptursache für menschliches Scheitern angesehen (vgl. Rützel, 2013, S. 116).

Wenn Leistungsbereitschaft und Lernmotivation fehlen, ist das Scheitern jeglicher Maßnahmen in den meisten Fällen vorprogrammiert. (Micheli, 2006, S. 146)

Daraus ist der Schluss zu ziehen, dass das reine Vermitteln von Wissen in der Schule zu wenig ist (vgl. Schlag, 2012, S. 9f.). Eine neue Facette der Lehrerinnen- und Lehrerrolle ist die Motivation der Schülerinnen und Schüler (vgl. Scheinig & Grabner, 2013, S. 10). In technischen Fächern ermöglichen neue Unterrichtsmethoden, wie zum Beispiel „[B]egreifen mit allen Sinnen, Individualisierung, LehrerInnen als Coach, TutorInnen-System[,] eine Erhöhung der Lernmotivation.“ (Scheinig & Grabner, 2013,

S. 24f.) Die Lehrerinnen und Lehrer haben auch die Aufgabe, bei den Schülerinnen und Schülern die Bereitschaft, etwas lernen und leisten zu wollen, zu forcieren. Lern- und Leistungsmotivation kann nicht durch Zwang herbeigeführt werden, im Gegenteil, dies wäre sogar hinderlich (vgl. Schlag, 2012, S. 9f.).

3.13.2 Lern- und Leistungsmotivation

Die Definition des Motivationsbegriffs ist in der wissenschaftlichen Literatur nicht einheitlich (vgl. Stuhlmann, K. 2005, S. 68; Jähning, 2007, S. 4; Himpel, 2009, S. 139). Je nach Abgrenzungsgrad und theoretischem Leitbild unterscheiden sich die Begriffserklärungen (vgl. Spöck, 2011, S. 10). Selbst der Leistungsbegriff ist in der Literatur durch eine bemerkenswerte Vielschichtigkeit mit wechselnden Referenzen und Bezugsrahmen gekennzeichnet, was eine einheitliche Definition von Leistung nicht zulässt (vgl. Hondrich et al., 2013 S. 50; Schröder, 2010, S. 21; Platz, 1980, S. 64).

Der Begriff Leistung hat ein breites Bedeutungsspektrum. Wenn man zehn Leute fragt, was sie unter Leistung verstehen, bekommt man wahrscheinlich zehn verschiedene Antworten. (DeCharms, 2011, S. 98)

Manchmal wird – vor allem für den schulischen Bereich – zwischen Lern- und Leistungsmotivation unterschieden (vgl. Stuhlmann, 2005, S. 68; Jaschinski, 2002, S. 27; Buchinger, 2012, S. 37; Heisig, 2007, S. 1). Leider unterliegen diese beiden Begriffe aber keinen fixen Definitionen und werden in der Literatur sehr unterschiedlich gebraucht (vgl. Stuhlmann, K. 2005, S. 68).

Nicht immer werden sie voneinander getrennt und manche Autorinnen und Autoren verwenden beide Termini in Forschungsarbeiten sogar synonym (vgl. Dorsch, 1994, S. 435; Stuhlmann, K. 2005, S. 68).

Auch Jaschinski (2002, S. 27) spricht zum Beispiel davon, dass in der schulbezogenen Literatur häufig der Begriff Lernmotivation verwendet wird, dass sie jedoch der Einfachheit halber in ihrem Überblick ausschließlich den Begriff Leistungsmotivation verwendet.

Andere Autoren verweisen wiederum auf die Unterschiede zwischen individueller und sozialer Leistungsorientierung. Von individueller Leistungsorientierung spricht Schiefele bei kompetenzbezogener Lernmotivation, während soziale Leistungsorientierung mit der wettbewerbsbezogenen Lernmotivation gleichgesetzt werden kann (vgl. Schiefele, 2008, S. 41).

So ist es für die vorliegende Arbeit zwingend erforderlich, beide Begriffsdefinitionen im Hinblick auf den derzeitigen Forschungs- und Erkenntnisstand der pädagogischen Psychologie herzuleiten.

Krapp und Weidenmann (2006, S. 213) sehen in Leistungsmotivation nur einen Teilbereich der Lernmotivation. Sie unterteilen Lernmotivation in Leistungsmotivation, Lernzielorientierung⁴⁰, Leistungszielorientierung⁴¹, Interesse⁴², Flow-Erleben⁴³, intrinsische versus extrinsische Motivation⁴⁴, Selbstbestimmung⁴⁵, persönliche Ziele⁴⁶, multiple Zielstrukturen⁴⁷ und Volition⁴⁸ (vgl. ebd. S. 213; Wild & Möller, 2009, S. 160). Auch nach Stangl (2016, o. S., online) ist die Lernmotivation die Summe von emotionalen und kognitiven Prozessen. Das absichtliche Lernen, durch das gewünschte Folgen erreicht und unerwünschte Folgen vermieden werden, wird nach Stangl (ebd., o. S.) als Lernmotivation bezeichnet. Auch er sieht, begründet durch die Formel von Heckhausen (1980, S. 194), dass die Leistungsmotivation nur ein Teil der Lernmotivierung (Motl) ist:

$$Motl = (LM \cdot E \cdot Ae) + As + N + [bld + bZust + bAbh + bGelt + bStrafv]$$

Motl = Lernmotivierung

LM = Leistungsmotivation: Zielstrebiges Verhalten in

⁴⁰ Wunsch, die eigenen Fähigkeiten zu steigern

⁴¹ Wunsch, gute Leistungen hervorzuheben und schlechte zu verschleiern

⁴² Interesse hat vorübergehend oder dauerhaft hohe subjektive Bedeutung

⁴³ Ganzheitliches Aufgehen in einer Tätigkeit

⁴⁴ Lernen aus Freude an der Sache (Selbstzweck) im Gegensatz zum Lernen, das positive Ergebnisse und den persönlichen Nutzen in den Vordergrund stellt

⁴⁵ Entsteht erst, wenn grundlegende Bedürfnisse (Autonomie, Kompetenz, soz. Eingebundenheit) befriedigt sind

⁴⁶ Ziele (allgemeine und konkrete), die von Menschen verfolgt werden

⁴⁷ Mehrere (unvereinbare) Ziele können sich auch im Weg stehen

⁴⁸ Die willentliche Planung und Durchführung von Handlungen (vgl. Krapp und Weidenmann, 2006, S. 213)

Theoretische Grundlagen

Auseinandersetzung mit einem Gütemaßstab

E = Erreichbarkeitsgrad des in der Lernsituation gestellten

Leistungszieles für den individuellen Schüler (erlebte

Erfolgswahrscheinlichkeit in %)

Ae = Anreiz von Aufgaben

As = sachbereichsbezogener Anreiz

N = Neuigkeitsgehalt eines dargebotenen Lehrstoffes

bld = Bedürfnis nach Identifikation mit dem Erwachsenen Vorbild

(siehe Modellernen)

bZust = Bedürfnis nach Zustimmung, positivem Feedback

bAbh = Bedürfnis nach Abhängigkeit von Erwachsenen

*bGelt = Bedürfnis nach Geltung und Anerkennung in den Augen des
Lehrers und/oder der Mitschüler*

bStrafv = Bedürfnis nach Strafvermeidung

(Heckhausen, 1980, o. S.; zitiert nach Stangl, 2016, o. S., online)

Diese Formel lässt sich nach Heckhausen (1968, S. 196; zitiert nach Kestler, 2002, S. 136) auch verkürzt formulieren:

<i>Lernmotivation = Leistungsmotivation + Sozialmotivation + Neugiermotivation</i>
--

Auch Pahl (2009, S. 79) verweist auf die eben genannte Definition von Heckhausen und sieht in der Leistungsmotivation eine Variable der Lernmotivierung. Diese Variable meint, dass das eigene Streben in allen Tätigkeiten so hoch gehalten wird, dass das Ergebnis einem eigenen Gütemaßstab entspricht. Er definiert die Begriffe „Lernmotivation“ und „Leistungsmotivation“ folgendermaßen (ebd., S. 79):

*Die Lernmotivation wird durch zwei situationsabhängige
Anregungsvariablen nachhaltig beeinflusst: durch den
Erreichbarkeitsgrad als Wahrscheinlichkeit dafür, dass die Schülerin
bzw. der Schüler bei der Lösung der Aufgabe zum Erfolg kommt und
durch den Anreiz der Aufgabe, der mit zunehmender Schwierigkeit
größer wird. Die Leistungsmotivation wird außer von diesen Variablen
noch durch den Neuigkeitsgehalt einer Aufgabe, den Anreizen aus
sachbezogenen Interessen der Lernenden, den persönlichen*

Bedürfnissen nach Identifikation mit Erwachsenen und nach und nach Zustimmung, das Geltungsbedürfnis und das Bedürfnis nach Strafvermeidung bestimmt. (Pahl, 2009, S. 79)

Eine sehr ähnliche Sichtweise wird auch von Schlag (2012, S. 19f.) vertreten. Er sieht Teilbereiche wie Leistungsmotivation, soziale Lernmotive und den Anregungsgehalt der Situation als maßgebliche Faktoren der Lernmotivation an.

Allerdings lässt sich „der Anregungsgehalt der unmittelbaren Problemstellung schwer [...] erfassen [...], da die unmittelbar motivationsbestimmenden Größen der Lernsituation variabel sind.“ (Winther, 2015, S. 226f.) Die Lernsituation nimmt jedenfalls Einfluss auf das individuelle Verhalten und bestimmt den Lernerfolg und die Leistung im Moment des Lernens bzw. Handelns (vgl. ebd., S. 227).

Erfolgt die Lernaktivität aufgrund einer Orientierung am Lernziel, d.h. dass das Ziel des Lernens und des Lernzuwachses verfolgt wird, kann man von intrinsischer Lernmotivation sprechen. Dient die Lernaktivität nur dazu, Überlegenheit gegenüber Mitschülerinnen und Mitschülern zu erlangen – das Ziel des Handelns ist also das Erreichen von Macht – wird von extrinsischer Lernmotivation (Performanzzielorientierung) gesprochen (vgl. Heckhausen & Heckhausen, 2010, S. 371).

Sander (2009, S. 17) vom Institut für Psychologie der Universität Koblenz verweist ausdrücklich darauf, dass der Begriff Lernmotivation alle motivationalen Bedingungen beim Lernen umfasst und nennt als „zentrale Determinante der Lernmotivation – das so genannte Leistungsmotiv.“

Um die Lernmotivation optimal zu fördern, müssen die Lehrenden motivationale Zustände und Bedingungen aufmerksam verfolgen. Sie haben dabei die Herausforderung zu meistern, dass sie schülerinnen- und schülerzentriert auf die motivationalen Bedürfnisse der Lernenden eingehen und durch ihre Maßnahmen, soweit dies möglich ist, die Bedingungen so gestalten, „dass möglichst alle Auszubildenden angesprochen werden.“ (Prenzel, Kramer & Drechsel, 2001, S. 58) Alle bisher genannten Autoren gehen davon aus, dass Leistungsmotivation als Teilbereich von Lernmotivation angesehen werden kann.

Im Gegensatz dazu grenzt Schick (2008, S. 36) die Begriffe „Leistungsmotivation und Lernmotivation“ per Definition voneinander ab. Während bei der Leistungsmotivation

die Verhaltensbereitschaft eine wichtige Rolle spielt, steht bei der Lernmotivation die „Passung zwischen Anforderungen und Können“ im Vordergrund.

Rheinberg und Krug (2004, S. 26) präzisieren den Begriff der Leistungsmotivation:

Engagierte Zielverfolgung, die von solcher Selbstbewertung der eigenen Tüchtigkeit angeregt ist, wird als leistungsmotiviert von anderen Motivationen unterschieden.

Sie stellen Leistungsmotivation so dar, dass es im Idealfall um das „Erreichen eigener Zielsetzungen“ auf einem persönlichen Gütemaßstab geht. „Dies ist nicht gleichzusetzen mit dem Bestreben, einem von anderen auferlegten Leistungsdruck nachzukommen.“ (Krug 2004, S. 25, vgl. Schlag, 2012, S. 19; vgl. Frommer, 1978, S. 19) Entscheidend ist es also, selbst gesteckte Ziele zu erreichen, wobei ein Gelingen zu Erfolg und zu positiver Selbstbewertung führt. Sollte das selbst auferlegte Ziel nicht erreicht werden können, sind Misserfolg und Unzufriedenheit die Folge. Natürlich kommt es im ungünstigsten Fall des Nichterreichens eines inneren Ziels zu negativen Auswirkungen bzw. zu negativen Emotionen (vgl. Rothermund & Eder, 2012, S. 105).

Am Erreichen oder Verfehlen dieses Gütemaßstabs bemessen sich Erfolg und Misserfolg. Bei Erfolg stellt sich ein Gefühl des Stolzes, bei Misserfolg meist ein Gefühl der Beschämung ein. Stolz und Scham gelten als die typischen leistungsbezogenen Emotionen. (Schlag, 2012, S. 87)

Diese Definition wurde bereits 1965 von DeCharms und Prafulachandra (S. 558ff.) formuliert. Sie belegten in ihren Untersuchungen, dass die Hoffnung auf Erfolg und die Angst vor Misserfolg wesentliche Faktoren der Leistungsmotivation sind.

Wild und Möller (S. 160) formulieren dies 2014 so:

Während Leistungsmotivation relativ eindeutig als das Streben nach Erreichen oder Übertreffen individueller oder sozialer Gütemaßstäbe definiert werden kann [...], besteht Konsens darüber, dass das Leistungsmotiv in ein Annäherungsmotiv („Hoffnung und Erfolg“) und ein Vermeidungsmotiv („Furcht vor Misserfolg“) zu unterteilen [ist].

Rheinberg (2008, S. 15ff.) grenzt Lernmotivation von Leistungsmotivation deutlich ab. Für ihn kann dann von Lernmotivation gesprochen werden, wenn Lernaktivitäten aufgrund eines zu erwartenden Lernzuwachses durchgeführt werden.

Röder (2009, S. 34) schließt sich den Ausführungen von Rheinberg an und postuliert, dass die Lernmotivation positiv für den Lernfortschritt ist und somit als pädagogisch wünschenswertes Ziel angestrebt werden soll. Der Auslöser für Lernmotivation kann vielfältig sein. So können gute Schulnoten oder die Freude der Eltern oder die Geltung bei Mitschülerinnen und Mitschülern Antrieb sein.

Im Gegensatz dazu steht die Leistungsmotivation, die den Antrieb zum Handeln einer Person darin sieht, dass sie sich einem eigenen Tüchtigkeitsmaßstab verpflichtet fühlt, welcher aus Eigeninitiative verfolgt wird (vgl. Heckhausen & Heckhausen, 2010, S. 145)

Wild und Möller (2014, S. 160) schließen sich inhaltlich den Ausführungen von Röder (2009, S. 34) und (Heckhausen & Heckhausen, 2010, S. 145) an:

Ein Verhalten gilt dann als leistungsmotiviert, wenn der eigene Tüchtigkeitsmaßstab (concern with a standard of excellence) als Referenzwert herangezogen wird (vgl. Pinquart, Schwarzer & Zimmermann, 2011, 157; Storch, 2012, S. 18; Werner, 2013, S. 96 f.; Lenk, 2002, S. 176). Eine Handlung ist somit bereits dann leistungsmotiviert, wenn eine Person versucht, besser zu sein als bei eigenen früheren Leistungen (to excel oneself) oder besser zu sein als andere Personen (to rival or surpass others) (vgl. Heckhausen & Heckhausen, 2010, S. 145f.)

Auch Wimmer, Wolling, und Rothermund (2012, S. 104ff.) postulieren „die Tüchtigkeit“ als „entscheidende Komponente für die Leistungsmotivation“. Im Vordergrund steht somit die Qualität einer Tätigkeit (oder eines Produkts), nicht die damit verbundenen Folgen. So ist selbst für das Kind – bei voll entwickeltem Leistungsmotiv – „die Qualität des eigenen Tuns [...] wichtiger als die dafür erhaltene Belohnung und Anerkennung.“ (Wimmer, Wolling & Rothermund, 2012, S. 105). Als anschauliches Beispiel führen die Autoren einen Firmenchef an, der monatlich 50.0000 Euro verdient und eine Stunde lang versucht, einen Tacker zu reparieren. Obwohl er eine Stunde dafür braucht, freut er sich wie ein kleines Kind über den Erfolg – das Gerät selbst ist jedoch nicht einmal fünf Euro wert – er hätte also in dieser Zeit finanziell gesehen viel erfolgreicher sein können.

Das Leistungsmotiv (need of achievement) ist nach Heckhausen und Heckhausen (2010, S. 145) das am gründlichsten untersuchte Motiv (vgl. auch Zumholz, 2013, S. 36; Heyden, 2002, S. 45).

Bereits 1965 definiert Heckhausen (S. 604) das Leistungsmotiv:

Bestreben, die eigene Tüchtigkeit in allen jenen Tätigkeiten zu steigern oder möglichst hoch zu halten, in denen man einen Gütemaßstab für verbindlich hält und deren Ausführung deshalb gelingen oder misslingen kann.

Auch McClelland (1987, S. 183) beschreibt, dass das Leistungsmotiv ein überdauerndes Persönlichkeitsmerkmal ist, um einen Leistungszustand zu erreichen.

So we may define a motive disposition as a recurrent concern about a goal state that drives, orients, and selects behavior. (ibd., S. 183)

Von einem hohen Leistungsmotiv wird nur dann gesprochen, wenn die Schülerinnen und Schüler nicht durch folgende Belohnungen motiviert sind, sondern sich das Handeln auf das proximale⁴⁹ Ziel richtet (vgl. Rothermund & Eder, 2012, S. 105).

Nach Kuhl (2010, S. 266) kann die Freude an einer Tätigkeit sogar verloren gehen, wenn man für die Ausführung belohnt wird. Er spricht in diesem Fall vom Korumpierungseffekt. Das kann dann passieren, wenn die Belohnung nur der Belohnung wegen eingesetzt wird und auf das angeregte Motiv keine Rücksicht genommen wird. Werden nicht die aktuellen Bedürfnisse des Kindes angesprochen, fühlt sich das Kind fremdbestimmt und es wird „eher Frustration als Freude an der Tätigkeit aufkommen“. (ibd., S. 266) Aus diesem Grund ist es besonders wichtig, die jeweiligen aktuellen Bedürfnisse des Kindes zu erkennen, damit nicht das Gefühl von Fremdbestimmung entsteht. Kühn, Platte und Wottawa (2005, S. 147) vermuten als Ursache für den Korumpierungseffekt ebenfalls die Gefährdung der Autonomie. Im Fall der Überveranlassung („over-justification“), also der zusätzlichen Belohnung bei bereits erfolgter intrinsischer Motivation, kann es aber genau zu diesem Effekt kommen. (Kühn et al., 2005, S. 147)

⁴⁹ unmittelbares Ziel

Überveranlassung bedeutet, dass eine vorhandene intrinsische Motivation (oder ein vorhandenes Interesse) sinken kann, wenn zusätzlich belohnt wird – wenn also eine extrinsische Motivation ergänzt wird [...]. (Hartinger, 2008, S. 19)

Eine solch bereits vorhandene intrinsische Ausgangsmotivation kann sich zum Beispiel in Form von Stolz oder Spaß am Gelingen einer Ausführung äußern (vgl. Wiswede, 2004, S. 391).

In den allermeisten Fällen steigert natürlich eine hohe Leistungsmotivation Ausdauer und Anstrengungsbereitschaft (vgl. Holocher-Ertl, 2010, S. 85) und wirkt sich somit auf den weiteren Erfolg aus. Auch nach Rothe (1981, S. 176) sind „Strebsamkeit und Fleiß, Anstrengungsbereitschaft und Ausdauer [...] wichtige Faktoren für den Erfolg in Bildungsinstitutionen.“ So sind die Lernenden zum Beispiel bereit, quantitativ ein mehr an Aufgaben in derselben Zeit zu lösen. Nach Rothe (1981, S. 176) ist es „auch nicht verwunderlich, dass sich bei Schülern auch ein deutlich positiver Zusammenhang zwischen Einstellung zu Schule, Leistungsbereitschaft und Intelligenz feststellen lässt.“

Interessanterweise gibt es aber keinen eindeutigen Zusammenhang zwischen Leistungsmotiv und Leistungsergebnissen (vgl. Wild & Möller, 2009, S. 165).

Nach Rheinberg und Krug (2004, S. 27) muss dagegen engagiertes Arbeitsverhalten, welches zu „vielleicht sehr guten Leistungen“ führen kann, aus motivationspsychologischer Sichtweise nicht unbedingt leistungsmotiviert sein. Es lässt sich auf vielerlei Ursachen zurückführen. So kann in der Schule zum Beispiel eine gute Zeugnisnote, Lob von den Eltern, Ansehen bei Mitschülerinnen und Mitschülern und Lehrerinnen und Lehrern, nachschulischer Nutzen und vieles mehr der Grund für das Verhalten sein. Diese hier angeführten Beweggründe sind jedoch nicht immer leistungsmotiviert. Rheinberg und Krug (2004, S. 25) sprechen von einem leistungsmotivierten Verhalten „nämlich nur dann, wenn die Selbstbewertung eigener Tüchtigkeit der ausschlaggebende Anreiz einer engagierten Zielverfolgung ist“.

In der gegenständlichen Arbeit fokussiert die Fragestellung der 1. Hypothese darauf, die Motivation, ausgedrückt durch Freude, Stolz und Spaß am Gelingen der Arbeit zu messen (vgl. Wimmer, Wolling & Rothermund 2012, S. 105; Heckhausen & Heckhausen 2010, S. 145; Rheinberg & Krug 2004, S. 25; Schlag, 2012, S. 19f.).

Bewusst wird nicht der schulische Erfolg untersucht, sondern die intrinsische Motivation während des Lernprozesses.

Nach Bachmann (2009, S. 15) sind die Erfolgswahrscheinlichkeit, die Misserfolgsbefürchtung, das Interesse und die Herausforderung die wesentlichen Faktoren für die aktuelle Motivation.

Hier ist primär maßgeblich, dass der „innere, persönliche Gütemaßstab“ erreicht wird und nicht ausschließlich bewusst herbeigeführte positive Folgen erfahren werden. Die Hypothesen 2–5 dieser Forschungsarbeit widmen sich dieser aktuellen Motivation. Dabei werden die genannten Faktoren bei der Durchführung von virtuellen physikalischen Versuchen durch quantitative Forschungsmethoden überprüft.

Die Aspekte der aktuellen Motivation in der Arbeitsphase haben allerdings keine direkte Relevanz für die zu erbringende Leistung.

Daher sehen Vollmeyer und Rheinberg (2003, S. 281ff.) bei der Erhebung des Leistungsmotivs das Problem, dass die Person erst über eine passende Situation oder Aufgabenstellung angeregt werden muss.

In der Schule obliegt es den Lehrenden, ein Leistungsmotiv (wie auch andere Motive) durch bestimmte Anreize absichtlich anzuregen. So ist es auch möglich, statt „hochgeneralisierte[r] Motive/Interessen auch spezifischere Motivationsmerkmale der Person heran[zuziehen“ (Vollmeyer und Rheinberg, 2003, S. 281), die zur jeweiligen Situation passen. Bei der Messung der Motivationsfaktoren muss natürlich darauf geachtet werden, dass jene Faktoren abgefragt werden, die in der gegenwärtigen Situation mit hoher Wahrscheinlichkeit angeregt werden. Bei früheren Messungen von Motiven, Interessen oder Zielorientierungen wurde oft nicht auf die situative Anregung eingegangen. Vollmeyer und Rheinberg (2003, S. 283) geben die Empfehlung ab, „möglichst alle motivationsrelevanten Erlebens- und Handlungskomponenten zu erfassen, die in der interessierenden Lernsituation potentiell eine Rolle spielen.“

Dieses Maß hat den Vorteil, dass man relativ sicher sein kann, Motivationsvariablen erfasst zu haben, die im zeitlichen Nahraum der zu untersuchenden Lernprozesse angeregt sind. Da die aktuelle Motivation von Besonderheiten der gegebenen (Lern-) Situation abhängt, gibt es aber auch den Nachteil, dass diese Motivationsmessung für jede neue (Lern-) Situation immer wieder neu erfolgen muss. (Vollmeyer und Rheinberg, 2003, S. 283)

Es müssen also sowohl unbeabsichtigte, situationsbedingte Motivanregungen als auch gezielt gesetzte Anreize (Motivierung) erfasst werden. Sie alle nehmen Einfluss auf den Motivationsprozess (vgl. Seel & Hanke, 2014, S. 417).

Gelingt das nicht, weiß man nicht, „ob das erfasste Motiv auf die untersuchten Lernprozesse tatsächlich keinen Einfluss hatte, oder ob es in der untersuchten Lernsituation nur nicht hinreichend angeregt war.“ (2003, S. 281; vgl. Kapitel 3.14 der vorliegenden Arbeit).

Langens und Schüler (2003, S. 100) verweisen in diesem Zusammenhang auf Studien, die keine Bestätigung darüber geben konnten, dass hoch leistungsmotivierte Schülerinnen und Schüler signifikant öfter gute Noten erreichen als jene mit einem niedrigen Leistungsmotiv. Ein Persönlichkeitsmerkmal alleine erlaubt noch keine Aussage, da die Situation und die Art der Aufgaben ebenfalls entscheidend auf das Leistungsmotiv einer Person wirken. Es müssen passende Anreize gegeben werden, welche im Optimalfall mittleren Schwierigkeitsgrades sind. „Genau dann, wenn ein Erfolg maximal unsicher ist, geben hochleistungsmotivierte Personen ihr Bestes.“ (ebd., S. 100) Langens und Schüler (ebd., S. 100) vergleichen dies mit einem Tennispartner. Ist dieser Gegner zu schwach oder deutlich zu stark, so lässt sich der Ausgang im Vorhinein abschätzen, dadurch wird für Personen mit starkem Leistungsmotiv die Herausforderung zu gering und das Spiel völlig uninteressant.

Sehr ähnlich verhält sich die Sachlage in der Klasse. Es lässt sich leider nicht vermeiden, dass einige Schülerinnen und Schüler durch den Lehrstoff entweder über- oder unterfordert werden. Auch in diesem Fall würde das Leistungsmotiv kaum angeregt werden und es ist nicht zu erwarten, dass „hochleistungsmotivierte Schüler insgesamt bessere Noten bekommen.“ (ebd., S. 100)

Bereits 1957 erforschte Atkinson Faktoren, die für die Wahlentscheidung zwischen unterschiedlich schwierigen Aufgaben von Relevanz waren. Dabei untersuchte er die Aufgabenwahl, das Zielsetzungsverhalten, die Ausdauer und die Leistungseffizienz (vgl. Schmalt & Langens, 2009, S. 262; Rudolph, 2009, S. 106ff.).

Anzunehmen war, dass Erfolgsmotivierte vorwiegend Schwierigkeitsgrade wählen, „bei denen ihre subjektive Erfolgswahrscheinlichkeit nahe bei 0.50 liegt, während die Misserfolgsmotivierten diesen Bereich eher meiden und sehr hohe oder sehr niedrige

subjektive Erfolgswahrscheinlichkeiten wählen sollten.“ (Schmalt & Langens, 2009, S. 262)

1960 ließen Atkinson und Litwin die bereits bekannte Ringwurfaufgabe durchführen. Dabei musste ein Ring so zu einem stehenden Holzstab geworfen werden, dass er um den Holzstock zum Liegen kam. Die Distanz zum Spielgerät konnte in 15 Stufen von den Probandinnen und Probanden frei gewählt werden.

Der Theorie zufolge musste Atkinson also davon ausgehen, dass erfolgsmotivierte Personen einen mittleren Schwierigkeitsgrad bevorzugen würden, misserfolgsorientierte Personen dagegen sehr leichte oder sehr schwierige Aufgaben wählen würden.

Das Ergebnis fiel allerdings nicht eindeutig aus. So präferierten erfolgsmotivierte Personen – wie erwartet – Aufgaben mittleren Schwierigkeitsgrades. Allerdings konnte bei misserfolgsmotivierten Personen nicht, wie von der Theorie prophezeit, eine eindeutige Bevorzugung von leichten oder schweren Aufgaben beobachtet werden (vgl. Schmalt & Langens, 2009, S. 262; Rudolph, 2009, S. 106ff.).

Die Untersuchungen von Heckhausen et al. (1985, S. 75ff.) zeigten, dass erfolgsmotivierte Versuchspersonen stets den Leistungsanspruch immer gemäß ihrem Können oder leicht darüberhinausgehend anpassten (vgl. nach Schmalt & Langens, 2009, S. 263).

Rheinberg und Vollmeyer (2003, S. 161ff.) konnten in ihrer Studie „Flow experience in a computer game under experimentally controlled conditions“ zeigen, dass der gefühlte Schwierigkeitsgrad entscheidenden Einfluss auf die Motivation und den Flow hat. Ein Computerspiel wurde im Schwierigkeitsgrad verändert. Bei seiner Erhöhung stiegen auch die erlebten Anforderungen. Gleichzeitig stieg auch das Flowerlebnis an, bis der höchste bewältigbare Anforderungsgrad bei diesem Spiel erreicht wurde. Als das Spiel zu schwer wurde, fielen die Flow-Werte deutlich ab. Auch bei zu leichten Schwierigkeitsstufen des Spieles gab es keine Zusammenhänge zwischen Zielorientierung und Flow. Ausgehend von diesem Ergebnis wird bei der vorliegenden Studie darauf geachtet, dass die virtuellen Versuche so gewählt werden, dass sie einem mittleren, anspruchsvollen Schwierigkeitsgrad entsprechen und somit Schülerinnen und Schüler besonders motivieren⁵⁰.

⁵⁰ Der Schwierigkeitsgrad wurde vor der Untersuchung mit den unterrichtenden Lehrpersonen abgestimmt. Diese Versuche wurden auf die Lehrinhalte des Lehrplans (bzw. der Bildungspläne) ausgerichtet.

Für jene selbstgesteuerte, individuelle Lernsituation, in der „man sich mit einem Computerprogramm Wissen aneignen soll [...]“, haben Vollmeyer und Rheinberg (1998, S. 283) ein Instrument entwickelt, das die aktuelle Motivation misst. Als Instrument wurde ein Fragebogen zur Erhebung der aktuellen Motivation (FAM) geschaffen, der versucht „möglichst alle motivationsrelevanten Erlebens- und Handlungskomponenten zu erfassen, die in der interessierenden Lernsituation potentiell eine Rolle spielen.“ (ebd., S. 283)

Der Fragebogen untersucht die Erfolgswahrscheinlichkeit, die Herausforderung, das Interesse und die Misserfolgsbefürchtung (vgl. auch Asmussen, 2007, S. 96).

Da auch in der vorliegenden Untersuchung Computerprogramme zur Durchführung virtueller Versuche herangezogen werden und selbstgesteuertes Lernen eine wesentliche Rolle einnimmt, wurden wesentliche Teile dieses Fragebogens zur Untersuchung der aktuellen Motivation verwendet.

Dabei wurde folgende Klarstellung von Vollmeyer und Rheinberg (2003, S. 293) besonders beachtet:

„dass stärkere Effekte von Motivation auf Lernen gefunden werden können, wenn man bei der Motivationsmessung

(a) zeitlich näher an den Lernprozess heranrückt und dabei

(b) die Motivationserfassung genauer für die vorliegende Lernsituation spezifiziert.“

Um die aktuelle Motivation zu messen, muss die Formulierung der Items an die aktuelle Lernsituation angepasst werden (vgl. Vollmeyer & Rheinberg, 2003, S. 293; Asmussen, 2007, o. S., Anhang).

Aufgrund der sehr ähnlichen Lernsituation konnten die Items zur Erhebung der Lernmotivation für die vorliegende Studie im Wesentlichen von Vollmeyer und Rheinberg übernommen werden.

Vollmeyer und Rheinberg fanden auch heraus, dass hochleistungsmotivierte Schülerinnen und Schüler Aufgabenstellungen, bei denen unmittelbar eine Rückmeldung über die Leistung erfolgt, präferieren. Eigenverantwortung und eine Rückmeldung über die eigene Leistung regen „das Leistungsmotiv an und desto enger wird der Zusammenhang zwischen Leistungsmotiv und Verhalten.“ (ebd., S. 100)

Außerdem konnten die Autoren auch zeigen, dass „Besorgnisse und ernsthafte Misserfolgsbefürchtungen [...] im Mittel [...] keine oder nur eine geringe Rolle [spielten].“ (ebd., S. 164) Somit kann für die vorliegende Studie angenommen werden, dass im Falle von Misserfolg Besorgtheit und Misserfolgsbefürchtungen keine wesentliche Rolle einnehmen werden.

3.13.3 Exkurs: Atkinsons Risikowahlmodell der Leistungsmotivation

(Motivational determinants of risk-taking behavior)

Atkinson entwarf 1957 ein mathematisches Modell, welches dazu dienen sollte, die individuell gewählte Aufgabenschwierigkeit, die von einer bestimmten Situation abhängig ist, voraussagen zu können (vgl. Heckhausen & Heckhausen, 2010, S. 132). Nach Heckhausen und Heckhausen (ebd., S. 132) war der dazugehörige Artikel auf Grund seiner Bedeutsamkeit „in den folgenden 15 Jahren wohl die meist zitierte und einflussreichste Publikation der Motivationsforschung [...]“.

So berechnete Atkinson die Erfolgsvalenz⁵¹ (V_e) und Misserfolgswalenz (V_m) aus folgenden Faktoren:

- Situationskomponente des Anreizes (A) und
- einer Personkomponente des Motivs (M)

$$V_e = M_e \times A_e; \quad V_m = M_m \times A_m \quad ^{52}$$

⁵¹ „Valenz [...] meint [...] die subjektive Wertigkeit, die ein Individuum einem Zustand gibt. [...] Valenz gibt den Grad an, in dem ein bestimmter Zustand für ein Individuum erstrebenswert ist.

Negative Valenz bedeutet demnach, dass es für den Menschen erstrebenswert ist, den Zustand zu vermeiden.

Eine Valenz von Null signalisiert Gleichgültigkeit gegenüber dem Zustand.

Ist die Valenz positiv, so hält das Individuum den Zustand für erstrebenswert.“ (Linde & Heyde, 2013)

Rusch (2012, S. 81) beschreibt einen jungen Familienvater, der einerseits durch Mehrarbeit eine Beförderung mit finanzieller Aufwertung erlangen könnte, andererseits aber lieber mehr Zeit mit seiner Familie verbringen will. Je nach persönlicher Wichtigkeit und den zu erwartenden Folgen wird die Entscheidung des Familienvaters ausfallen.

Entscheidung = Valenz (V) · Erwartung (E)

⁵² Erfolgsvalenz (V_e)

Misserfolgswalenz (V_m)

Erfolgsanreiz (A_e)

Misserfolgsanreiz (A_m)

Erfolgsmotiv (M_e)

Misserfolgsmotiv (M_m)

Mathematisch betrachtet lässt die Formel zur Erfolgsvalenz (V_e) folgenden Schluss zu: Bleibt die Aufgabenstellung (A_e) in der (subjektiven) Schwierigkeit gleich, so haben Personen mit einem höheren Erfolgsmotiv auch eine höhere Erfolgsvalenz. Der Erfolgs- oder Misserfolgsfall ist also von individuellen Parametern der Motivstärke abhängig (vgl. Punge, 2009, online, o. S.). Für den Fall des Misserfolges lässt die zweite Formel den umgekehrten Schluss zu. Daraus geht also auch eindeutig hervor, dass die abhängigen Werte für Erfolg oder Misserfolg von persönlichen Faktoren abhängig sind. Wie in Kapitel 3.13.2 erläutert, lässt sich nun auch formelmäßig das Erfolgsmotiv (Erfolg anzustreben) und das Misserfolgsmotiv (Misserfolg vermeiden) ableiten (vgl. Heckhausen & Heckhausen, 2010, S. 132).

Außerdem werden Erfolg und Misserfolg als entgegengesetzte Größe gesehen, wobei sich die Erfolgswahrscheinlichkeit (W_e) und Misserfolgswahrscheinlichkeit (W_m) auf 1,00 ergänzen. (Anmerkung des Autors: 1 bedeutet in diesem Fall 100%)

Damit die Formel richtig interpretiert wird, muss man sich im Klaren sein, „dass sich die Leistungsmotivation nur über die eigene Tüchtigkeit definiert, die in einer Leistungssituation gezeigt wird.“ (Rothermund & Eder, 2011, S. 109f.) Extrinsische Anreize wie Belohnung, Lob, Tadel sind somit irrelevant, entscheidend sind die „leistungsbezogenen Affekte (Stolz und Scham), die mit der erfolgreichen oder gescheiterten Bearbeitung einer Aufgabe verbunden sind.“ (Rothermund & Eder, 2011, S. 110)

$$W_e + W_m = 1.00 \rightarrow W_m = 1 - W_e$$

Heckhausen und Heckhausen (ebd., S. 133) erweitern die Formel zur Erfolgsvalenz „im Sinne des Wert-Erwartungs-Kalküls“ um die

- „zugehörige subjektive Erfolgswahrscheinlichkeit“ (W_e) und
- die Misserfolgswahrscheinlichkeit (W_m).

$$T_e = M_e \times A_e \times W_e; \quad T_m = M_m \times A_m \times W_m$$

Dadurch lässt sich nun die angestrebte Erfolgstendenz (T_e) und die zu meidende Misserfolgstendenz (T_m) algebraisch ermitteln (vgl. Heckhausen & Heckhausen, 2010, S. 132).

Um diese rein mathematische Formel in ein praxistaugliches Modell überführen zu können, müssen die einzelnen Faktoren operationalisiert beziehungsweise richtig gemessen werden.

Atkinsons bevorzugtes Instrument zur Messung des Erfolgsmotivs (M_e) war der TAT-Test (Thematischer Auffassungstest), während das Misserfolgsmotiv (M_m) über einen Ängstlichkeitstest erhoben werden sollte (vgl. Rothermund & Eder, 2011, S. 109).

Ähnlich zu der bereits in diesem Kapitel erklärten Herleitung der Formel $W_e + W_m = 1.00$ lässt sich auch die Summe der resultierenden Tendenzen (T_r) verstehen:

$$T_r = T_e + T_m^{53}$$

Die soeben beschriebene Erfolgstendenz ($T_e = M_e \times A_e \times W_e$) und die Misserfolgstendenz ($T_m = M_m \times A_m \times W_m$) werden nun formelmäßig berücksichtigt.

$$T_r = (M_e \times A_e \times W_e) + (M_m \times A_m \times W_m)$$

Ersetzt man in dieser Formel Erfolgswahrscheinlichkeit (W_e) und Misserfolgswahrscheinlichkeit $W_m = 1 - W_e$ so ergibt sich:

$$T_r = M_e \times W_e \times (1 - W_e) - M_m \times W_e \times (1 - W_e)$$

Diese Formel lässt sich wiederum zusammenfassen:⁵⁴

$$T_r = (M_e - M_m) \times (W_e - W_e^2)$$

⁵³ Erfolgstendenz (T_e),
Misserfolgstendenz (T_m),
resultierende Tendenz (T_r)

⁵⁴ Erfolgswahrscheinlichkeit (W_e),
Misserfolgswahrscheinlichkeit (W_m)

Ist also das Erfolgsmotiv stärker als das Misserfolgsmotiv, so ist von einer positiven (aufsuchenden) resultierenden Tendenz auszugehen. Genau umgekehrt gelagert ist die Situation, wenn das Misserfolgsmotiv stärker als das Erfolgsmotiv ist. In diesem Fall ist eine negative (meidende) Tendenz zu erwarten (vgl. Heckhausen & Heckhausen, 2010, S. 132ff.).

Heckhausen und Heckhausen (2010, S. 134) verbalisieren die Charakterisierung des Risikowahl-Modells:

Dieses Modell ist für den „reinen Fall“ einer einzelnen rein leistungsthematischen Aufgabenwahl entworfen, d.h. wenn keine anderen Motive angeregt sind [...].“ (ebd., S. 134)

Leistungshandeln, also die treibende Kraft motiviert zu handeln, ist das Ergebnis aus der Erfolgs- oder Misserfolgsmotivation, wobei Erfolg und daraus resultierender Stolz angestrebt werden und Misserfolg mit damit verbundene Beschämung vermieden wird. Anders gelagerte Leistungsziele bleiben unbeachtet.

Aus leistungsthematischer Sichtweise ist der Anreiz einzig und allein von subjektiver Erfolgswahrscheinlichkeit des Handlungsausgangs abhängig.

Mittelschwere Aufgaben motivieren nach den oben genannten Formeln (abhängig von: Motiv, Anreiz, Wahrscheinlichkeit) am stärksten, allerdings nur dann, wenn das „Erfolgsmotiv stärker als das Misserfolgsmotiv ist.“

Überwiegt dagegen das Misserfolgsmotiv das Erfolgsmotiv, so motivieren mittelschwere Aufgaben am wenigsten, während – sofern der Aufgabentätigkeit nicht überhaupt ausgewichen wird – sehr schwere oder sehr leichte Aufgaben relativ am meisten motivieren.
(ebd., S. 134)

Auch wenn dieses Modell zur Leistungsmotivation in der Zwischenzeit überarbeitet, modifiziert und erweitert worden ist (vgl. ebd., S. 135), werden die Beispiele für die virtuellen Experimente der aktuellen Untersuchung so ausgewählt, dass sie nicht zu trivial oder gar zu schwierig sind.

In diesem Zusammenhang nehmen Hasselhorn und Gold 2009 (ebd., S. 107) Bezug auf Atkinsons „Risiko-Wahl-Modell“, welches als Basis moderner „Erwartungs-mal-Wert-Theorien der Motivation“ dienen (vgl. auch Janetzko, 2005, S. 39; Curcio, 2008, S. 140).

Dieses Modell basiert auf der Annahme, dass die Anspruchsniveausetzung von der Erfolgswahrscheinlichkeit (Erwartungskomponente) und vom Erfolgsanreiz (Wertkomponente) abhängt. (Hasselhorn, 2009, S. 107)

Eine schwierige Anforderung bietet einen sehr hohen Erfolgsanreiz, die niedrige Wahrscheinlichkeit auf Erfolg „motiviert [...] nicht wirklich zum Leistungshandeln.“ (Hasselhorn, 2009, S. 107) Da sich die beiden Faktoren (niedriger Erfolgsanreiz, hohe Wahrscheinlichkeit auf Erfolg) bei einer sehr leichten Aufgabe genau umgekehrt verhalten, ist wieder von einer geringen Motivation zum Leistungshandeln auszugehen.

3.13.4 Motiv

Wenn es um Motivation geht, muss man sich selbstverständlich zu allererst mit dem Begriff „Motiv“ auseinandersetzen.

Rothermund und Eder (2011, S. 90) gehen davon aus, dass die Suche nach den Motiven menschlichen Handelns so alt ist wie die Psychologie selbst (vgl. auch (Correll, 2006, S. 17). Motive sind ihren Ausführungen nach affektbezogen.

Nach Stangl (2016, o. S., online) sind „Motive in der Psychologie richtunggebende, leitende und antreibende psychische Ursachen des Handelns. Motive befähigen ihren Besitzer, bestimmte Gegenstände wahrzunehmen und durch die Wahrnehmung eine emotionale Erregung zu erleben, daraufhin in bestimmter Weise zu handeln oder wenigstens den Impuls zur Handlung zu verspüren.“ Stangl (ebd., o. S.; vgl. auch Pinnow, 2010, S. 57) unterscheidet zwischen:

- biogenen (primären) Motiven, die zwar angeboren sind, aber durch äußere Umwelteinflüsse überlagert oder sogar ausgeschaltet werden können.
- soziogenen (sekundären) Motiven, die individuell in den ersten Lebensjahren gelernt und erworben werden.

Situationen werden individuell verschieden wahrgenommen und können als „Chance, Gefahr oder Handlungsaufforderung“ erlebt werden. (Rothermund & Eder, 2011, S. 91)

Kuhl (2009, S. 276) untermauert die Erkenntnis von Stangl. Auch seinen Ausführungen zufolge prägen frühkindliche Wahrnehmungen, bei denen Bedürfnisse befriedigt oder frustriert werden, die individuellen Motive. Auch nach Wilkening, Freund und Martin (2013, S. 114) entwickeln sich grundlegende Motive wie Leistung⁵⁵, Anschluss⁵⁶ und Macht⁵⁷ bereits im Säuglingsalter und in der frühen Kindheit. Motive werden hier als „situationsübergreifende, überdauernde Beweggründe oder Dispositionen, bestimmte Zustände herbeizuführen oder zu vermeiden“, bezeichnet. (ebd., S. 114) Holodynski (2009, S. 272) geht davon aus, dass sich Motive durch den lebenslänglichen Erfahrungsprozess in situativen und sozialen Gelegenheiten entwickeln, weist aber auch darauf hin, dass in der Literatur immer wieder kontroverse Meinungen darüber vorherrschen, „welche Motivsysteme angeboren sind oder erst im Laufe der Ontogenese entstehen“.

Ein Motiv wird als Anreiz menschlichen Handelns definiert, als ein positiv bewerteter Zielzustand, den eine Person bestrebt ist zu erreichen. (Holodynski, 2009, S. 272)

Es sei hier nur kurz erwähnt, dass es neben dem Leistungsmotiv noch viele weitere Motive wie Macht-, Anschluss-, Intimität-, Aggressionsmotiv gibt (vgl. Holodynski, 2009, S. 272). Eine intensivere Auseinandersetzung mit allen Motiven würde jedoch den Rahmen dieser Forschungsarbeit sprengen.

Motive werden nicht bewusst erlebt und können daher nur in ihren indirekten Auswirkungen messbar gemacht werden (vgl. Pinnow, 2010, S. 57). Aus dieser Erkenntnis folgt, wie bereits in Kapitel 3.13.2 beschrieben, dass auch die wissenschaftliche Untersuchung von Leistungsmotivation nicht direkt möglich ist (vgl. Rheinberg, 2008, S. 15;). Die Motivation ist – wie in dieser Arbeit bereits mehrfach belegt – von Situation und Person abhängig (vgl. Heckhausen & Heckhausen, 2010, S. 132). Der „bedürfnisähnliche[] Faktor“, also jener Parameter, der die Person betrifft, wird als Leistungsmotiv bezeichnet (vgl. Rheinberg, 2008, S. 62). Rothermund und Eder (2011, S. 91) beschreiben eine Person mit ausgeprägtem Leistungsmotiv in einer Lerngruppe. Diese Person wird in der Zeit der Prüfungsvorbereitung als erstes merken,

⁵⁵ Leistungsmotiv: Hoffnung auf Erfolg vs. Furcht vor Misserfolg

⁵⁶ Anschlussmotiv: Hoffnung auf Akzeptanz vs. Furcht vor Zurückweisung

⁵⁷ Machtmotiv: Hoffnung, andere beeinflussen zu können vs. Furcht vor Machtverlust (vgl. Stangl, 2016, o. S., online)

dass die Lernaktivität „besser oder schlechter aus[ge]übt“ werden kann. Die Person wird die Teilnahme an der Lerngruppe auch deshalb schätzen, weil sie die Möglichkeit wahrnimmt, die eigenen Leistungen mit denen der Gruppe zu vergleichen. Je nach Erfolg kann es sein, dass sie sich für Misserfolg schämt, bei Erfolg wird sie jedoch sehr stolz sein (vgl. ebd., S. 91). „Dieses Motiv ist als eine personspezifische Konstante gedacht, hinsichtlich derer sich Menschen unterscheiden“. (Rheinberg, 2008, S. 62) Das Leistungsmotiv ist „in ein Annäherungsmotiv (‘Hoffnung auf Erfolg’) und ein Vermeidungsmotiv (‘Furcht vor Misserfolg’) zu unterteilen [...]“. (Wild & Möller, 2009, S. 160)

Das Leistungsmotiv ist ein überdauernder, bedürfnisähnlicher Faktor innerhalb einer Person, der bestimmt, wie wichtig Gütekriterien sind und wie zentral die eigene Tätigkeit eingestuft wird. (Wurtele, 2004, Folie 15)

Rothermund und Eder (2011, S. 92) untermauern diese Aussage, denn auch sie sind der Meinung, dass „Motive [...] zeitlich stabil [sind] und [...] die Wahrnehmung von unterschiedlichen Situationen in verschiedenen Lebensbereichen in dieselbe motivthematische Richtung [lenken]“. Allerdings zeigen sich diese Motive erst dann, wenn sie in einer passenden Situation angeregt werden.

Um die Auseinandersetzung mit einem Gütemaßstab zu untersuchen, müssen zunächst die Faktoren, die die Situation und die Person betreffen, messbar gemacht werden (vgl. Heckhausen, 1965, S. 604; Rheinberg, 2008, S. 62; Langens & Schüler, 2003, S. 89). Hat eine Person ein stark ausgeprägtes Leistungsmotiv, wird sie viel häufiger Möglichkeiten erkennen, ihrem Gütemaßstab zu folgen und somit die eigene Tüchtigkeit zu steigern. Rheinberg sieht im Motiv eines Menschen „eine spezifisch eingefärbte Brille, die ganz bestimmte Aspekte von Situationen auffällig macht und als wichtig hervorhebt.“ (Rheinberg, 2008, S. 62)

Entscheidend für diese Forschungsarbeit ist jedoch, dass der Ausprägungsgrad der persönlichen Motivlage stark von den individuellen Vorerfahrungen in bestimmten Handlungssituationen abhängt. Die Entwicklung des Leistungsmotivs beginnt bereits in jungen Jahren vor dem Schulbeginn, allerdings sind zur Aufrechterhaltung immer wieder der Entwicklung angemessene Aufgabenstellungen vonnöten. Dies ist vor

allem dann der Fall, wenn Anforderungen mit eigener Anstrengung zu bewältigen sind (vgl. Rheinberg, 2008, S. 62).

Wichtig ist auch die Tatsache, dass „[d]ie starken frühkindlichen Einflüsse [...] nicht als unveränderliche Prägung zu verstehen“ sind. (Rheinberg, 2008, S. 63)

„[M]otivationspsychologische Interventionen“ können das Leistungsmotiv auch noch im Jugendlichen- und Erwachsenenalter beeinflussen (vgl. Rheinberg, 2008, S. 62).

In Anlehnung daran untersucht die gegenständliche Forschungsarbeit, inwieweit virtuelle Experimente in der Sekundarstufe I Einfluss auf das Leistungsmotiv und die Leistungsmotivation haben.

3.13.5 Abgrenzung von Motiv und Gefühl

Umgangssprachlich werden die Begriffe Gefühl und Motiv meist gleichbedeutend verwendet. So können Wörter wie „Liebe“ oder „Ärger“ zur Beschreibung von Gefühlen dienen oder tatsächliche Kennzeichen für Motive sein. Wird aus Dankbarkeit oder aus Furcht gehandelt, werden echte Beweggründe angesprochen.

Motivbezeichnungen sind immer mit einem Handlungsbezug verknüpft, bei reinen Gefühlswörtern ist das nicht der Fall (vgl. Laucken & Mees, 1996, S. 25f.).

Stangl (2016, o. S., online) schreibt, dass im Gegensatz zur augenblicklichen Erlebnislage, die emotions- oder gefühlsbetont ist, „die Ziellage, zu der die vorhandene Kraft drängt“, Zeichen von Motivation ist. Zaharia (2006, S. 129) betont, dass bei schwachen kognitiven Zielorientierungen eher Emotionen angesprochen werden. Von einem Motiv kann dann gesprochen werden, wenn die Zielorientierungen einer starken kognitiven Intention unterliegen. Als Beispiel nennt Zaharia (ebd., S. 129) das Gefühl, etwas unternehmen zu wollen. Wird aus diesem unbestimmten Gefühl ein gezielter Wunsch zu einem Einkaufsbummel „dann handelt es sich um ein Motiv“.

Das folgende Organigramm zeigt eine verkürzte Form der von Laucken und Mees (1996, S. 26) dargestellten Emotionsstruktur.

Die farblich markierten Kästchen zeigen den Weg zu den positiven Emotionen, die in Selbstzufriedenheit münden, aber auch den Pfad zur persönlichen Unzufriedenheit. Wie in Kapitel 3.13.2 beschrieben, sind durch das eigene Tun im Idealfall positive Emotionen wie Wohlergehen und Selbstzufriedenheit zu erreichen. Bei Nichterreichen eines Ziels treten Emotionen wie Verlegenheit, Peinlichkeit, Scham, Ärger und

Selbsttäger auf (vgl. Laucken & Mees, 1996, S. 30 f; Heckhausen & Heckhausen 2010, S. 145; Rheinberg & Krug 2004, S. 25).

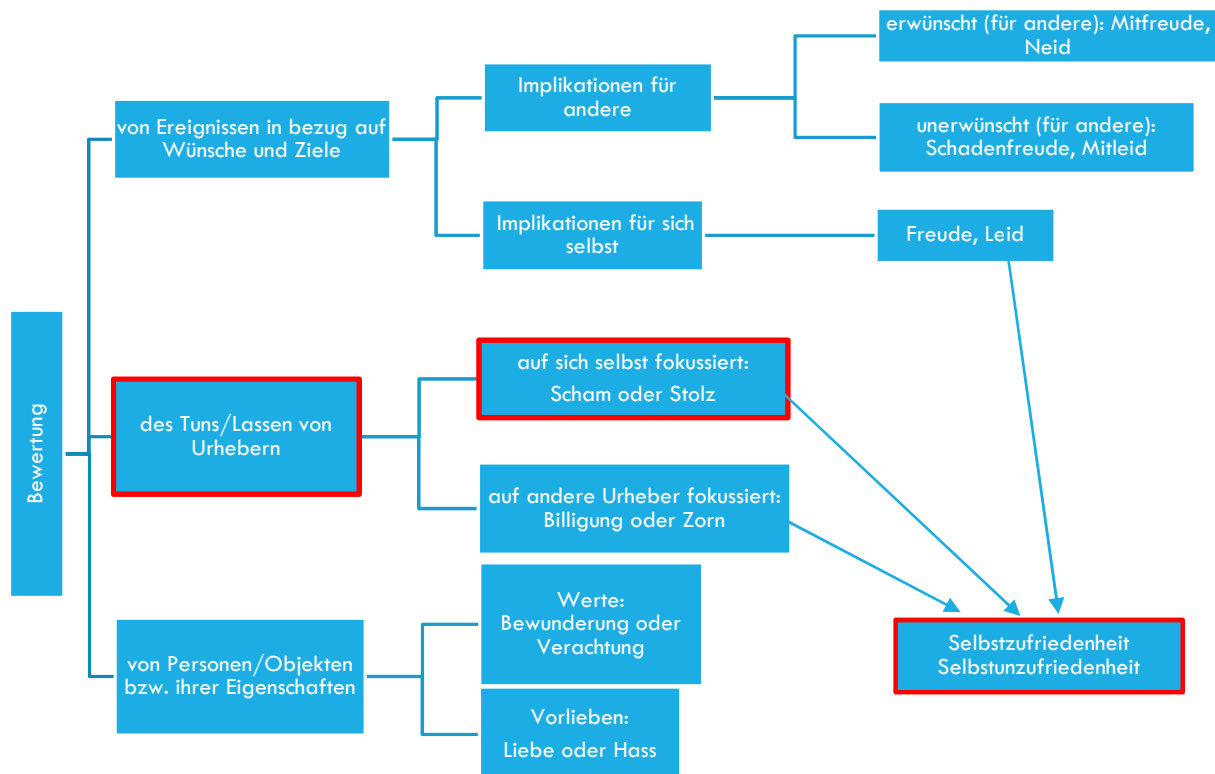


Abbildung 26: Emotionsstruktur nach Laucken und Mees (1996, S. 26)

Nach Otto, Euler und Mandl (2000, S. 13) meint der Begriff Gefühl im deutschen Sprachgebrauch „eine enge Definition von Emotion, die die subjektive Erlebensqualität als ein[en] Teil der Emotion in den Mittelpunkt rückt“. Doch die Begriffsdefinition schließt (im Deutschen) auch den körperlichen Zustand und das Ausdrucksverhalten mit ein. Otto et al. (ebd., S. 13f.) zeigen anhand vieler Literaturquellen, dass die Begrifflichkeiten „Emotion“ und „Gefühl“ in der Literatur widersprüchlich definiert werden. Einerseits werden die Termini „Emotion“ und „Gefühl“ synonym verwendet, andererseits legen manche Autoren besonderen Wert auf ihre Unterscheidung, da die Basis der Emotionen physiologischer Natur ist, das Gefühl aber auf psychischer Ebene erlebt wird.

Eine in der Literatur immer wieder verwendete Definition stammt von Kleinginna und Kleinginna (1981, S. 355; vgl. auch Otto et al., 2000, S. 13; Goller, 2009, S. 51; Worthmann, 2013, 170; Niedermeier, 2011, S. 4).

Emotion is a complex set of interactions among subjective and objective factors, mediated by neural/hormonal systems, which can

Theoretische Grundlagen

- (a) give rise to affective experiences such as feelings of arousal, pleasure/displeasure;*
- (b) generate cognitive processes such as emotionally relevant perceptual effects, appraisals, labeling processes;*
- (c) activate widespread physiological adjustments to the arousing conditions; and*
- (d) lead to behavior that is often, but not always, expressive, goaldirected and adaptive.*

Diese Definition wurde nach Zuordnung von 92 Emotionsdefinitionen in elf Kategorien von Kleinginna und Kleinginna entwickelt. In einer Kategorie wurden die motivationalen Definitionen zusammengefasst, die „die Beziehung oder teilweise Überlappung von Emotion und Motivation [unterstrichen].“ (Goller, 2009, S. 51)

Für die vorliegende Arbeit ist von größter Relevanz, dass Emotion und Motivation voneinander abhängig sind und dass Emotion als „komplexes Interaktionsgefüge“ (Goller, 2009, S. 51) auf vielen Faktoren beruht. Nach oben genannter Definition sind das Faktoren, die:

- (a) affektive Erfahrungen, wie Gefühle der Erregung, der Lust und Unlust, bewirken;
- (b) kognitive Prozesse hervorrufen, wie emotional relevante Wahrnehmungseffekte, Bewertungen und Etikettierungsprozesse;
- (c) ausgedehnte physiologische Anpassungen an die erregungsauslösenden Bedingungen zur Folge haben und
- (d) zu Verhalten führen, das oft, aber nicht immer, expressiv, zielgerichtet und adaptiv ist (vgl. Otto et al., 2000, S. 13; Goller, 2009, S. 51; Worthmann, 2013, S. 172)

3.13.6 Implizite und explizite Motive

Nerdinger (1995, S. 13) beschreibt Motivation als „Ergebnis der Wechselwirkung von Person und Situation, von Motiv und Anreiz“. Daraus entsteht dann die motivationale Tendenz, ein bestimmtes Ziel anzustreben.

Nach Heckhausen und Heckhausen (2010, S. 3ff.) ist die Motivation, ein Ziel zu erreichen, ebenfalls durch zwei maßgebliche Faktoren geprägt, nämlich durch

personenbezogene und situationsbezogene Einflüsse. Zu den personenbezogenen Faktoren zählen nach Heckhausen und Heckhausen (2010, S. 3f.):

Universelle Verhaltenstendenzen und Bedürfnisse: Sie sind elementarer Natur und für alle Menschen gleich, wie zum Beispiel Hunger und Durst.

Individuelle Motivdispositionen (implizite Motive): Motivierte Personen verhalten sich in derselben Situation unterschiedlich. Heckhausen und Heckhausen (2010, S. 4) definieren implizite Motive als „[ü]berdauernde individuelle [D]ispositionen.“

Zielsetzungen (explizite Motive): „Im Unterschied zu impliziten Motiven sind explizite Motive bewusste, sprachlich repräsentierte (oder zumindest repräsentierbare) Selbstbilder, Werte und Ziele, die sich eine Person selbst zuschreibt.“ (Heckhausen & Heckhausen, 2010, S. 5)

Häufig decken sich implizite und explizite Motive nicht. So kann es sein, dass unterbewusst Ziele mit „habituellen Gewohnheiten“ nicht übereinstimmen (vgl. McClelland, 1988, S. 183; Heckhausen & Heckhausen, 2010, S. 5).

Den zweiten entscheidenden Faktor stellt die Situation dar. So erörtern Heckhausen und Heckhausen (2010, S. 5), dass es durchaus intraindividuelle Unterschiede, ausgelöst durch die Situation im Verhalten eines Menschen gibt.

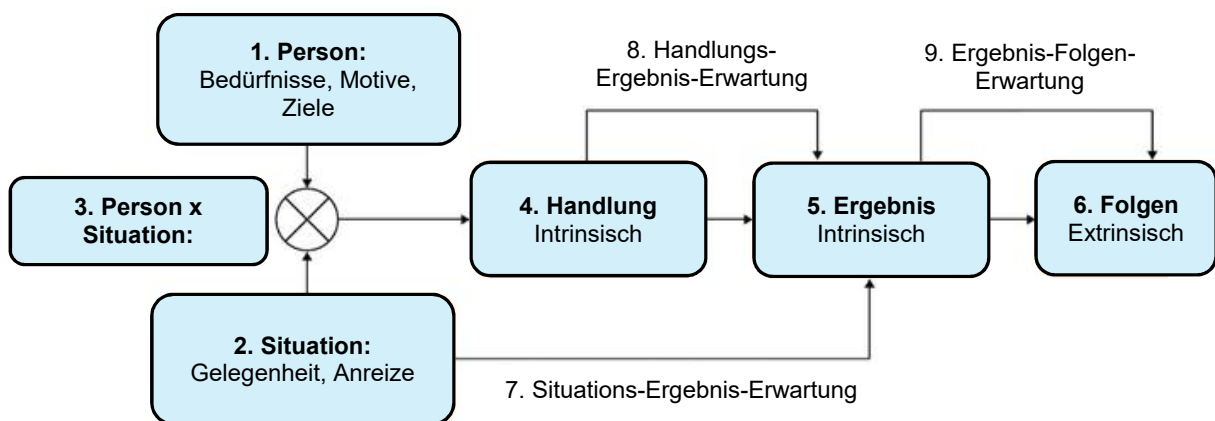


Abbildung 27: Determinanten motivierten Handelns (Heckhausen & Heckhausen, 2010, S. 5)

Die obige Abbildung zeigt, dass sich der Ausprägungsgrad einer Situation nach der Art der Erwartungshaltung unterscheiden kann.

Führt die Situation schon ohne Handeln zum Ergebnis, ist der Anreiz zum Handeln sehr gering (Situations-Ergebnis-Erwartung). Genau das Gegenteil ist allerdings der Fall, wenn durch gesetzte Handlungen eine Ergebnisveränderung erwartet wird (Handlungs-Ergebnis-Erwartungen). Werden bestimmte Folgen erwartet, steigert sich

dieser Anreiz nochmals (Ergebnis-Folgen-Erwartungen) (vgl. Heckhausen & Heckhausen, 2010, S. 5ff.).

3.13.7 Intrinsische Lernmotivation

Schiefele (1996, S. 52) definiert die intrinsische Lernmotivation als eine Absicht, Lernhandlungen durchzuführen, weil bei diesem Prozess ein individuell positiver Erlebenszustand auftritt.

Wie bereits in Kapitel 3.13.2 sehr ausführlich dargestellt, wird in der Literatur für das „Erreichen oder Übertreffen individueller oder sozialer Gütemaßstäbe“ (Wild & Möller, 2009, S. 160) auch vom Begriff der Leistungsmotivation⁵⁸ gesprochen.

Tritt die intrinsische Lernmotivation auf Grund der Erlebenszustände der Lernhandlung auf, wird von einer tätigkeitszentrierten intrinsischen Motivation gesprochen (vgl. Schiefele, 2008, S. 41).

Bei der tätigkeitszentrierten intrinsischen Motivation stehen in der Regel Handlungen und ihre Erlebnisqualität im Vordergrund. (Lange, 2011, S. 87)

Diese Art der Motivation ist unabhängig vom Lerngegenstand und wird durch bestimmte Handlungsformen, wie zum Beispiel Gruppenarbeit oder praktisches Experimentieren hervorgerufen (vgl. Schiefele, 2008, S. 41). Niegemann, Domagk, Hessel, Hein, Hupfer und Zobel (2007, S. 366) sprechen von einem tätigkeitszentrierten Motivationsanteil, „wenn die Tätigkeit ohne große zu erwartende negative Folgen ausgeführt werden kann.“ Diese Art der Motivation ist durchaus stabil und kann zum Beispiel auftreten, wenn jemand in der Nacht ein Buch noch fertigliest, obwohl er am nächsten Morgen bereits sehr früh in die Arbeit muss (vgl. ebd., S. 366). Inwieweit die tätigkeitszentrierte intrinsische Motivation auch bei virtuellen Experimenten im Physikunterricht der Sekundarstufe I auftritt, wird im empirischen Teil dieser Forschungsarbeit näher beleuchtet und untersucht.

⁵⁸ Der Begriff der Leistungsmotivation darf jedoch nicht mit jenem des Leistungsmotivs verwechselt werden. Dieses wird in ein von der Person vorgegebenes Annäherungs- und Vermeidungsmotiv unterteilt. Dabei stehen einerseits Hoffnung auf Erfolg und andererseits Furcht vor Misserfolg als relevante Faktoren im Vordergrund (vgl. Wild & Möller, 2009, S. 160f.).

Ist die Motivation durch den Gegenstand bedingt, so spricht man von der gegenstandszentrierten intrinsischen Motivation, diese ist unabhängig von der Tätigkeitsform, da für den Lernenden die themenrelevanten Inhalte von Interesse sind. Eine wichtige Voraussetzung für das Auftreten intrinsischer Lernmotivation stellen individuelle Interessen des Lernalters dar. Schiefele vermutet sogar, dass interessenabhängige bzw. gegenstandszentrierte intrinsische Lernmotivation für das schulische Lernen von größerer Bedeutung ist als die tätigkeit-zentrierte Lernmotivation. Den Grund dafür sieht Schiefele dadurch gegeben, dass in der Schule die fachlichen Inhalte im Fokus stehen. In der Freizeit der Schülerinnen und Schüler stehen Aktivitäten „aufgrund ihrer Anreizqualitäten“ im Vordergrund, nicht aber der Gegenstand eines Wissensbereiches (vgl. Schiefele 2008, S. 41 ff.; Niegemann et al., 2007, S. 366).

3.13.8 Extrinsische Lernmotivation

Die extrinsische Lernmotivation zeichnet sich vor allem dadurch aus, dass gute Leistungen auf Grund ihrer Folgen angestrebt werden. So kann diese Motivation auf die Anerkennung der Lehrerin oder des Lehrers abzielen oder sogar Oberziele, wie zum Beispiel das Erlernen eines bestimmten Berufs, bedienen (vgl. Schiefele, 1996, S. 59)

Unter extrinsischer Lernmotivation [...] versteht man die Absicht, eine Lernhandlung durchzuführen, weil damit positive Folgen herbeigeführt oder negative Folgen vermieden werden. (Schiefele, 1996, S. 59)

Extrinsisch motivierte Handlungen dagegen werden nicht um ihrer selbst willen, sondern wegen ihrer antizipierten Folgen ausgeführt. (Niegemann et al., 2007, S. 366)

Ausdrücklich beschreibt Schiefele (1996, S. 59), dass der Anreiz für gute Leistungen nicht um ihrer selbst willen im Lernprozess liegt, sondern bereits zu diesem Zeitpunkt an spätere Folgen gedacht wird. So setzt eine extrinsisch motivierte Person eine Lernhandlung vor allem deswegen, weil sie in einer in der Zukunft stattfindenden Prüfungssituation eine gute Leistung erbringen will.

Lechte (2008, S. 144) verdeutlicht die Problematik der extrinsischen Motivation: Im Falle von Belohnungen oder Bestrafungen wird das Verhalten fremdbestimmt. „[D]er freiwilligen Handlungsveranlassung“ wird also die „Basis entzogen“ (ebd., S. 144), die vorhandene Neugierde weicht zulasten des Bedürfnisses nach Anerkennung durch die Lehrerin oder den Lehrer.

Extrinsisch motivierte Handlungen haben instrumentellen Charakter. Sie werden durchgeführt, um positive Konsequenzen zu erreichen wie beispielsweise gute Noten, Lob der Eltern, Bestehen einer Prüfung oder um negative Konsequenzen zu vermeiden wie beispielsweise den Entzug sozialer Unterstützung oder Misserfolg in einer Prüfungssituation. (Waldis, 2012, S. 55)

Diese Form der Motivation wird in der gegenständlichen Forschungsarbeit nicht untersucht und daher im theoretischen Teil auch nicht weiter ausgeführt.

3.13.9 Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation nach Deci und Ryan

Deci und Ryan (1993, S. 233) stellen in ihrer „Self-Determination Theory“ das Selbst in den Mittelpunkt, dabei wird die Selbstbestimmung der Motivation als „organismische und dialektische Theorie“ postuliert. Organismisch ist die „fundamentale Tendenz zur stetigen Integration der menschlichen Entwicklung“. (ebd., S. 233)

Eine wichtige Rolle spielen angeborene psychologische Bedürfnisse und grundlegende Fähigkeiten und Interessen des Individuums. (ebd., S. 233)

Nach Krapp (2005, S. 632) ist mit dem Begriff „organismisch“ die „metatheoretische Überzeugung, dass das Verhalten des Menschen den generellen Prinzipien lebender Organismen unterliegt und die Psychologie als eine `Lebenswissenschaft` in ihren Theorien auf diese Tatsache Rücksicht nehmen muss“, gemeint.

Dabei gibt es vielfältige Motivationsfaktoren, die die nötige psychische Energie liefern. Deci und Ryan (1993, S. 233) sprechen von einer dialektischen Theorie, weil „eine permanente interaktive Beziehung zwischen diesem organismischen Integrationsprozeß und den Einflüssen der sozialen Umwelt unterstellt wird.“

So sind dem Individuum einerseits Fähigkeiten und Interessen angeboren, andererseits entwickelt es sich ständig durch den Kontakt mit der sozialen Umwelt weiter. Dieser ständige Prozess ändert das Produkt, also das Selbst (vgl. Deci & Ryan 1993, S. 233).

Nicht alle Verhaltensweisen⁵⁹ lassen sich auf Intentionen zurückführen beziehungsweise entstehen aus einer Motivation heraus. Deci und Ryan verwenden für solches Verhalten das Adjektiv amotiviert (amotivated).

Deci und Ryan (1993, S. 234f.) sind nach eigener Darstellung die ersten Psychologen⁶⁰, die nicht nur die Motivationsstärke berücksichtigen, indem sie Personen als mehr oder weniger motiviert befinden, sondern auch qualitative Unterschiede und Ausprägungen des motivierten Handelns und der dafür verantwortlichen Steuerungsprozesse (Regulierung) aufschlüsseln. Sie erläutern, „daß sich motivierte Handlungen nach dem Grad ihrer Selbstbestimmung bzw. nach dem Ausmaß ihrer Kontrolliertheit unterscheiden lassen.“ (Deci & Ryan, 1993, S. 225) So sind dem Individuum manchmal Handlungen aufgezwungen, andere werden bewusst aus freier Entscheidung gesetzt. Dementsprechend sind Handlungen entweder fremdbestimmt oder autonom.

Selbstbestimmung bzw. „intrinsische Motivation [nimmt ab], wenn man Versuchspersonen extrinsische Belohnungen wie z. B. Geld oder Auszeichnungen für eine ursprünglich intrinsische Aktivität anbietet“ (Deci & Ryan, 1993, S. 226) Solche Versuchspersonen haben weniger Interesse, durchgeführte Handlungen nochmals ohne Belohnung durchzuführen. Das Zugeständnis extrinsischer Motivatoren untergräbt die intrinsisch motivierte Tätigkeit unter anderem auch deswegen, weil die eigene Selbstbestimmung nicht mehr gegeben ist (vgl. Stangl, 2014, o. S., online).

Sprenger bestärkt diese Ansicht in seinem 2010 geschriebenen Buch „Mythos Motivation – Wege aus einer Sackgasse“ mit folgender Geschichte:

Ein alter Mann wurde täglich von den Nachbarskindern gehänselt und beschimpft. Eines Tages griff er zu einer List. Er bot den Kindern eine Mark an, wenn sie am nächsten Tag wiederkämen und ihre

⁵⁹ z. B. dösen, herumlungern, unkontrollierter Handlungsimpuls (z. B. Wutanfall) (vgl. Deci und Ryan, 1993, S. 234)

⁶⁰ „Keine [der bisherigen] Theorien beinhaltet ein Konzept wie z. B. das der motivationalen Orientierung oder des Handlungsregulationsstils, um qualitative Unterschiede zu beschreiben und zu erklären.“ (Deci & Ryan, 1993, S. 234)

Beschimpfungen wiederholten. Die Kinder kamen, ärgerten ihn und holten sich dafür eine Mark ab. Und wieder versprach der alte Mann: »Wenn ihr morgen wiederkommt, dann gebe ich euch 50 Pfennig.« Und wieder kamen die Kinder und beschimpften ihn gegen Bezahlung. Als der alte Mann sie aufforderte, ihn auch am nächsten Tag, diesmal allerdings gegen 20 Pfennig, zu ärgern, empörten sich die Kinder: Für so wenig Geld wollten sie ihn nicht beschimpfen. Von da an hatte der alte Mann seine Ruhe. (Sprenger, 2010, S. 73)

Sprenger (ebd., S. 74f.) führt neben der sehr amüsant zu lesenden Geschichte aber auch wissenschaftliche empirische Untersuchungen an: Ältere Mädchen wurden gebeten, jüngeren Kindern ein ihnen unbekanntes neues Spiel zu erklären. Als Belohnung wurde eine Kinokarte in Aussicht gestellt. In der Kontrollgruppe wurde anderen Mädchen dieselbe Aufgabe gestellt, allerdings ohne Aussicht auf Belohnung. Das Ergebnis zeigte, dass jene Kinder das Spiel besser verstanden, die von freiwillig, also von intrinsisch motivierten Mädchen unterrichtet wurden. Die versprochene Kinokarte (extrinsisch motivierte Gruppe) wirkte sich sogar nachteilig auf den Lernerfolg der kleinen Kinder aus.

Sprenger (ebd., S. 75) erklärt weiter, dass Folgeuntersuchungen zeigten, dass gerade Kinder, wenn sie auf Grund von Belohnungen motiviert worden sind, schneller das Interesse verlieren. Als Grund sieht Sprenger, dass die Intention in der versprochenen Belohnung liegt, während nicht belohnte Kinder leichter einen Sinn in ihrem Tun erkennen (vgl. auch Kapitel 3.13.8; vgl. Lechte, 2008, S. 144). Nach Kuhl (2009, S. 72) lässt sich der Rückgang der intrinsischen Motivation aus lerntheoretischer (behavioristischer) Sichtweise ebenfalls darin erklären, „dass die Belohnung konkurrierende Reaktionen auslöst.“

Abweichend zur Betrachtungsweise von Sprenger (2010, S. 74), Lechte (2008, S. 144) und Kuhl (2009, S. 72) dokumentieren Deci & Ryan (1993, S. 227f.) vier Typen extrinsischer Verhaltensregulationen, denn es macht einen wesentlichen Unterschied, ob eine Schülerin oder ein Schüler auf Grund des Drucks von außen lernt, oder weil sie / er selbst eine weiterführende Schule anstrebt. Obwohl beide Kriterien extrinsischer Natur sind, gibt es einen deutlichen Unterschied in der Selbstbestimmung.

Deci und Ryan geben zur besseren Differenzierung vier Regulationsstile extrinsischer Motivation, abhängig vom Grad der Selbstbestimmung an.

1. Externale Regulation: Hier hat das Individuum keinen direkten Einfluss – Handlungen werden gesetzt, um eine externe Belohnung zu erhalten oder einer angedrohten Bestrafung zu entgehen, es ist weder Autonomie noch Freiwilligkeit zu erkennen.
2. Introjizierte Regulation: Hier sind keine äußeren Handlungsanstöße mehr nötig, der Druck kommt vom Individuum selbst. Handlungen werden auf Grund von Selbstachtung gesetzt – auch um ein schlechtes Gewissen zu vermeiden.

Such regulation involves internalized rules or demands that pressure one to behave and are buttressed with threatened sanctions (e.g., guilt) or promised rewards (e.g., self-aggrandizement). (Deci, Vallerand, Pelletier & Ryan, 1991, S. 329)

3. Identifizierte Regulation: Nicht wie bei der externalen Regulation, wo der Druck noch von außen erzeugt wird, zum Beispiel von den Eltern oder bei der introjizierten Regulation, wo der Druck selbst auferlegt wurde, wird das Handeln bereits von den zugrundeliegenden Werten und Zielen bestimmt.
4. Integrierte Regulation: Bei dieser Form der extrinsischen Motivation ist der Grad an Selbstbestimmung am höchsten. Das Individuum integriert und identifiziert die extern gesetzten Reize in das Selbstkonzept (vgl. Deci & Ryan, 1993, S. 227 f.; Dörnyei & Ushioda, 2013, S. 24).

Der integrierte Regulationsstil, der die eigenständigste Form extrinsischer Motivation repräsentiert, bildet gemeinsam mit der intrinsischen Motivation die Basis des selbstbestimmten Handelns. (Deci & Ryan, 1993, S. 228)

Die integrierte Regulation ist der intrinsischen Motivation sehr ähnlich. Intrinsisch motivierte Verhaltensweisen sind autotelischer⁶¹ Natur, während das integrierte

⁶¹ „Autotelie ist ein Schlüsselbegriff der Flow-Theorie von Mihaly Csikszentmihalyi. Autotelie setzt sich aus den griechischen Wörtern "auto" (=„selbst“) und "telos" (=„Ziel“) zusammen und bedeutet so viel wie Selbstzweck. Grundsätzlich bedeutet es, dass die Zielsetzung in einer Handlung selbst liegt.“ (<http://www.fremdwort.de/suchen/bedeutung/Autotelie>)

extrinsische Verhalten auf Grund von subjektiv hoher Bewertung freiwillig ausgeführt wird (vgl. Deci & Ryan, 1994, S. 6f.; Deci & Ryan, 1993, S. 228).

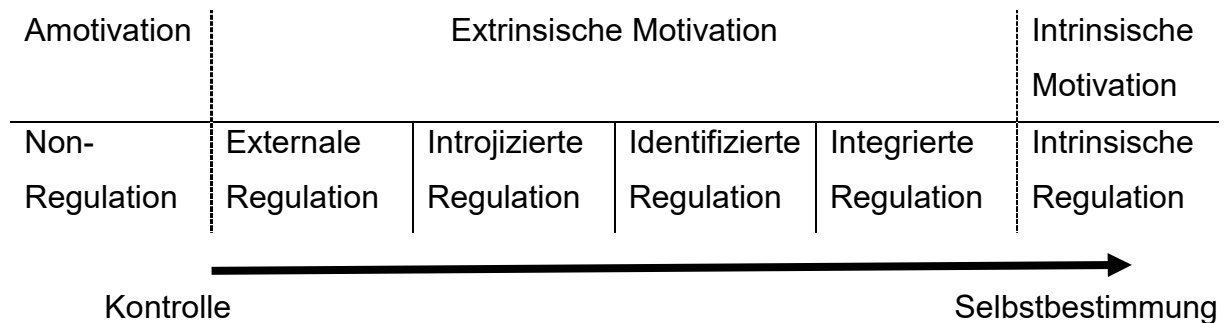


Abbildung 28: Das Kontinuum der Selbstbestimmung (Deci & Ryan, 2002, S. 16)

Eine zentrale Voraussetzung für das Gefühl, selbst bestimmt zu handeln, ist nach der Selbstbestimmungstheorie die Internalisierung⁶² und Integration der von außen an das Individuum herangetragenen Ziele in das individuelle Selbstsystem. (Seidel & Krapp, 2014, S. 204)

Nach Deci und Ryan (vgl. auch Seidel & Krapp, 2014, S. 204) lassen sich Entwicklungsprozesse durch psychologische Bedürfnisse erklären, denn zusätzlich zu den Antriebsfaktoren biologischer Art⁶³ existiert „ein angeborenes emotionsbasiertes Steuerungssystem des menschlichen Erlebens und Verhaltens“, welches auf folgenden drei psychologischen Grundbedürfnissen basiert (vgl. Seidel & Krapp, 2014, S. 204):

Kompetenzerleben: Jeder Mensch möchte ihm gestellte Aufgaben aus eigener Kraft erfüllen können oder zumindest das Gefühl haben, noch weitere Kompetenzen erwerben zu können (vgl. Deci & Ryan, 1994, S. 6f.; Seidel & Krapp, 2014, S. 204). Nach dieser Theorie entwickeln Menschen, die das Gefühl haben, etwas besonders gut zu können, ein individuelles Interesse für bestimmte „Interessensgegenstände“. Wichtig für die Förderung des Interesses ist auch die Anerkennung durch Mitmenschen, welchen besondere Bedeutung zugemessen wird. Studien konnten

⁶² „Einverleiben fremder Normen und Werte sowie die Übernahme der zugeordneten Rolle in der Gesellschaft.“ (<http://www.fremdwort.de/suchen/bedeutung/Internalisierung>)

⁶³ Hunger, Durst oder Wärmeregulation

belegen, dass hohe Leistung mit hohem Interesse verbunden ist (vgl. Ferdinand, 2013, S. 71).

Autonomie (Selbstbestimmung): Jedes Individuum möchte seine Ziele und Handlungen selbst bestimmen können. Für ein Kind bedeutet dies aber nicht, dass es den Ratschlag von Eltern oder Lehrpersonen nicht annehmen würde, denn es ist nicht der Wunsch nach absoluter Unabhängigkeit gemeint, sondern nur Handlungsweisen, die alleine kontrolliert herbeigeführt werden können (vgl. Deci & Ryan, 1994, S. 6f.; Seidel & Krapp, 2014, S. 204).

Soziale Eingebundenheit: Deci und Ryan (1993, S. 229) gehen weiters davon aus, dass Menschen sich einerseits einem sozialen Milieu zugehörig fühlen wollen, andererseits durch das Setzen von autonomen Handlungen und das Einbringen persönlicher Initiative Autonomie erleben möchten.

Diese Erkenntnisse von Deci und Ryan (1993, S. 228ff.) sind für die gegenständliche Arbeit von großer Relevanz, denn sie beschreiben, dass passende Umweltfaktoren bei Schülerinnen und Schülern intrinsische Motivation fördern und „die Integration extrinsischer Motivation erleichtern“ (ebd., S. 229ff.). So ist es für die Motivation der Heranwachsenden förderlich, wenn sie im sozialen Umfeld Gelegenheit haben, das Bedürfnis nach Kompetenz, Autonomie und sozialer Eingebundenheit zu erleben. Außerdem zeigen die soeben genannten Autoren, dass ungünstige soziale Umweltfaktoren Motivation hemmen.

[M]otivation kann sowohl durch (äußere) Kontrollmechanismen als auch durch selbstbestimmte Formen der Verhaltensregulation erzeugt werden. Mit qualitativ hochwertigen Lernergebnissen ist v.a. dann zu rechnen, wenn die Motivation durch selbstbestimmte Formen der Handlungsregulation bestimmt wird. (Deci & Ryan, 1993, S. 226)

Seidel und Krapp (2014, S. 219) ergänzen, dass mit keinen pädagogischen Maßnahmen das Gefühl, selbstbestimmt zu handeln, erzeugt oder antrainiert werden kann. Allerdings können die Lehrenden die Lernumgebung so vorbereiten, dass beim Lernenden das Gefühl aufkommt, selbstbestimmt zu handeln. Im Idealfall sollte dieser Prozess solange angeregt und erhalten werden, bis die „erwünschten Veränderungen der entsprechenden motivationalen und emotionalen Dispositionen“ erreicht sind. (Seidel & Krapp, 2014, S. 219)

Besonders interessant ist, dass sich diese Thesen in ähnlicher Form auch beim bekannten Hirnforscher Hütter (2016, S. 201f.) wiederfinden und daher in ihrer Aktualität gestärkt werden. So bilden sich im Gehirn (dorsomedialer Präfrontalkortex) synaptische Netzwerke heraus, „die an der Regulation der Motivation beteiligt sind“. Eine optimale Ausnutzung von Ressourcen ist dann gegeben, wenn das Kind aus eigenem Antrieb heraus handelt – auch Hütter (ebd., S. 202) spricht hier von der intrinsischen Motivation. Selge (2015, S. 68) schließt sich den Erkenntnissen Hütters (2015, o. S., online) vollinhaltlich an, denn ihren Ausführungen zufolge „ist es wissenschaftlich erwiesen, dass sich Schüler, die eigenen Antrieb mitbringen, Wissen nicht nur schneller, sondern auch nachhaltiger aneignen. Verantwortlich dafür ist das Ausschütten von Botenstoffen wie Dopamin im Gehirn, die aufgebaute Synapsen stabilisieren.“ Dieser Auffassung zufolge kommt ein Kind durch extrinsische Motivation schwerer zu einem Lernerfolg. Nach Hütter (2015, o. S., online) ist es besonders wichtig, dass ein Kind früh die Konsequenzen des eigenen Verhaltens abschätzen und schwierige Situationen alleine meistern lernt.

Das Bewusstsein für diese Fähigkeit ist ein grundlegend wichtiger Bestandteil des gesunden Selbstvertrauens. Mit jedem gelösten Problem wächst das Vertrauen in die eigenen Fähigkeiten und mit ihm der Mut, vor neuen, größeren Problemen (Pubertät, Prüfungssituationen) nicht zu kapitulieren. (Hütter, 2016, S. 203)

Diese Kompetenzen können aber nur dann entwickelt werden, wenn es sowohl Vorbilder als auch lernfreundliche Rahmenbedingungen gibt, in denen Kinder lernen, „Konzepte zu entwickeln, sie selbstbewusst umzusetzen, mit Rückschlägen umzugehen [...]“ (Hütter, 2016, S. 203)

Hütter (ebd., S. 193ff.) führt also – wenn auch durch Verwenden anderer Termini – ähnlich wie Deci und Ryan (1994, S. 6f), Kompetenzerleben, soziale Eingebundenheit und Autonomie als wesentliche Faktoren zum selbstbestimmten, intrinsisch motivierten Handeln an, wenngleich der Ausgangspunkt seiner Forschungen ein anderer war.

Exkurs: Aktueller Stand der Hirnforschung in Bezug auf Lernlust und Motivation: Endres und Hütter erklären in ihrem 2014 (S. 17) erschienenen Buch „Lernlust. Worauf es im Leben wirklich ankommt“ die verschiedenen Aufgabenbereiche der

Hirnregionen. So ist der Frontallappen unter anderem dafür verantwortlich, dass „wir uns ein Bild von uns selbst und unserer Stellung in der Welt machen wollen [...]“ (ebd., S. 17)

Dieser Teil des Gehirns ist auch dazu da, um unsere Aufmerksamkeit steuern und Handlungen sowie deren Folgen planen zu können (Motivation, Impulskontrolle). So können „wir uns in andere Menschen hineinversetzen und Mitgefühl entwickeln (Empathiefähigkeit, soziale und emotionale Kompetenz).“ (ebd., S. 17)

Wichtig ist für die Autoren Endres und Hütter (2014, S. 116) auch, dass „jemanden motivieren“ wollen immer die Gefahr mit sich bringt, in Belohnungs- und Bestrafungsstrategien zu verfallen. Daher wird vorgeschlagen, im Falle der vorliegenden Arbeit die Schülerinnen und Schüler zu ermutigen, einzuladen und inspirierend zu wirken.

3.14 Interesse

Nach Stangl (2015, o. S., online) ist unter Interesse (lat.: inter – zwischen, inmitten und esse – sein) „die kognitive Anteilnahme respektive die Aufmerksamkeit einer Person an einer Sache oder an einer anderen Person“ zu verstehen.

Nach Rendtorff (2015, S. 42) ist Interesse in der psychologischen und pädagogischen Fachliteratur „als geistige Anteilnahme und als individuelle, individuell unterschiedliche, relativ konstante Bereitschaft, sich mit bestimmten Gegenständen (Themen, Tätigkeiten, Zielen) zu befassen,“ definiert.

Im Brockhaus-Lexikon (2016, o. S., online) wird ebenfalls der lateinische Wortstamm zur Definition herangezogen. Dabei wird Interesse mit „daran gelegen sein“ übersetzt. Während es nach Walther (2010, S. 178) für den Terminus Interesse gar keine allgemein akzeptierte Definition gibt, erklären Schneider und Hasselhorn (2008, S. 46f.), dass aktuelle Begriffsdefinitionen von Interesse immer an die Beziehung zu einer Person und einer Situation geknüpft sind.

Willer (2003, S. 8f.) merkt aber auch kritisch an, dass in der Literatur verwendete Definitionen zu Interesse immer wieder verändert oder erweitert werden (vgl. auch Schraw, Flowerday & Lehmann, 2001, S. 211ff.).

Schiefele und Schaffner (2015, S. 162) unterscheiden in ihrer Erklärung individuelles und situationales Interesse. Ähnlich wie Todt (1990, S. 225) definieren sie individuelles

Interesse als überdauernde Persönlichkeitseigenschaft, während das situationale Interesse nur in bestimmten Situationen auftritt.

Das individuelle Interesse kann als relativ dauerhaftes, dispositionales Merkmal einer Person verstanden werden, das sich in der Auseinandersetzung mit einem Gegenstandsbereich (z. B. Schulfach) entwickelt und als mehr oder weniger starke Wertschätzung dieses Bereichs zum Ausdruck kommt. [...]

Das situationale Interesse bezeichnet dagegen den durch äußere Umstände (z. B. einen spannenden Vortrag) hervorgerufenen Zustand des Interessiertseins, der u. a. durch eine erhöhte Aufmerksamkeit und Gefühle der Neugier und Faszination gekennzeichnet ist. (Schiefele & Schaffner, 2015, S. 162)

Die Bedeutung des situationalen Interesses wurde auch durch die Forschung von Laukenmann, Bleicher, Fuß, Gläser-Zikuda, Mayring & Rhöneck (2000, 139ff.) aufgezeigt. Bei dieser Studie wurde der Fokus unter anderem auf „kognitive-emotionale⁶⁴ Faktoren“ gelegt und das Lernen im Physikunterricht untersucht.

Der Einfluss von situationsbedingten Emotionen auf das Lernen im Physikunterricht konnte eindeutig nachgewiesen werden. Es zeigte sich, dass sowohl das Wohlbefinden, als auch das Interesse für den Lernerfolg bedeutsam sind. Auch Ledergerber (2015, S. 90) beschreibt, dass davon auszugehen ist, dass „Emotionen kognitive und motivationale Konsequenzen und damit direkt Einfluss auf die Lernleistung haben.“ Internationale Forschungsergebnisse belegen ebenfalls diese Tatsache:

Research in science education also recognizes the importance of emotions in teaching and learning, and advocates the need to consider the cognitive and affective dimensions. (Brigido, Bermejo, Conde & Mellado, 2010, S. 25)

⁶⁴ Laukenmann et al. (2000, S. 139) unterscheiden zwischen

- kognitiven Konstrukten wie Vorwissen, Lernergebnissen und Lernstrategien und
- kognitiv-emotionalen Konstrukten wie Selbstkonzept und Interesse und
- emotionalen Konstrukten wie Angst, Langeweile und Wohlbefinden

Das situationale Interesse (vgl. Wild & Möller, 2009, S. 164) ist in der Erarbeitungsphase von großer Bedeutung, während es in der Übungsphase eine untergeordnete Rolle spielt (vgl. Laukenmann et al., 2000, S. 151).

*Je wohler sich die Schülerinnen und Schüler in den Unterrichtsstunden während der Erarbeitungsphase fühlen und je interessierter sie sind, umso mehr lernen sie, unabhängig davon, ob sie mit dem Fach insgesamt positive Gefühle verbinden oder nicht.
(Laukenmann et al., 2000, S. 151)*

Auch die Untersuchungen von Bartosch (2011, S. 164) zum Einfluss emotionaler Faktoren auf den Lernprozess im Physikunterricht zeigten, dass sich in der Einarbeitungsphase „das situative Interesse und die situative Zufriedenheit signifikant positiv auf Leistungen“ auswirkten. Die Studie belegt aber auch, dass sowohl schlechte, als auch gute Schülerinnen und Schüler Interesse am Unterricht haben, wenn sie sich in der Lernsituation wohl fühlen. Allerdings beschäftigen sich die guten Schülerinnen und Schüler auch nach dem Unterricht noch mit dem Lehrstoff. Fachangst wirkt sich negativ auf das Lernen aus, leichter Stress ist durchaus lernförderlich (vgl. ebd., S. 164f.).

Willer (2003, S. 8ff.) beginnt in seinem Buch „Didaktik des Physikunterrichts“ mit der These, dass das Wecken von Interesse das wichtigste didaktische Ziel ist. Er beschreibt zwei Gründe, warum dieses Interesse geweckt werden sollte (vgl. ebd., S. 8ff.): Schülerinnen und Schüler werden im Laufe ihres Lebens Problemen physikalischer Natur nur dann Aufmerksamkeit schenken, wenn bereits in jugendlichen Jahren ihr Interesse geweckt wurde. Als zweiten wesentlichen Aspekt nennt Willer den aus Interesse gesteigerten Lernerfolg, der allein unter Zwang nicht zu erreichen ist. Daniels (2008, S. 11) postuliert, dass in der Schule auch fächerübergreifende Kompetenzen gefördert werden müssen. Außerdem fordert Daniels auch „das Verfolgen selbst gesetzte[r] Ziele und – nicht zuletzt – die Entwicklung individueller fachbezogene[r] Interessen“. (ebd., S. 11)

Schiefele (2004, S. 134ff.) nimmt zu der von Deci und Ryan aufgestellten Selbstbestimmungstheorie (Kapitel 3.13.9), welche die Grundbedürfnisse nach Selbstbestimmung (Autonomie), Kompetenz und sozialer Eingebundenheit in den Fokus stellt, Bezug. Wie aus den folgenden vier Aufzählungspunkten hervorgeht, ist für Schiefele (ebd., S. 134ff.) die Optimierung des Interesses vordergründig.

Da er aber konkret auf das Interesse Bezug nimmt, stellen die folgenden Punkte keine Kopie der Selbstbestimmungstheorie dar, sondern eine Erweiterung:

1. Förderung der Autonomie: Haben die Schülerinnen und Schüler die Möglichkeit am Lernprozess teilzuhaben und diesen aktiv zu beeinflussen, wird das Bedürfnis nach Selbstbestimmung angesprochen. Durch Mitbestimmungsmöglichkeiten, zum Beispiel der Lernziele, wird die Autonomie gefördert. Äußerst förderlich für das Autonomieempfinden ist das gemeinsame Vereinbaren von Leistungszielen und die Möglichkeit zur Selbstbewertung. Natürlich lässt sich eine Evaluation durch die Lehrkraft nicht immer vermeiden – allerdings lässt der gezielte Einsatz von Lehrmethoden (zum Beispiel Projektunterricht) ein Autonomieerleben während des Lernprozesses zu. Für die vorliegende Arbeit sind auch die Ausführungen von Berger (2006, S. 155) von großer Relevanz. Demnach sollen die an die Schülerinnen und Schüler gestellten Arbeitsaufträge zwar straff organisiert sein, aber auch „einen möglichst großen Spielraum für eigene kreative Problemlösungen beim Experimentieren anbieten“. (ebd., S. 155) Um die Freiheit der Lernenden nicht einzuschränken, sollten keine kochrezeptartigen, bis ins kleinste Detail gehenden Anleitungen, ausgegeben werden. Am besten wäre es, wenn auch eigene kreative Lösungen zugelassen würden.
2. Förderung des Kompetenzerlebens: Schiefele zeigt durch seine Studien, dass häufige positive Rückmeldungen das Kompetenzerleben fördern. Entscheidend für das Kompetenzerleben ist, dass die Lehrperson während der Erarbeitungsphase Hilfe anbietet und das geforderte Niveau an den tatsächlichen Wissensstand der Schülerinnen und Schüler anpasst. Allerdings sollen die Anforderungen so gestellt werden, dass die Schülerinnen und Schüler aktiv am Unterricht teilhaben können.
3. Förderung der sozialen Einbindung: Einerseits lässt sich durch den Einsatz von Partner- oder Gruppenarbeiten und durch Einsatz von gezielten Gruppenarbeitsmethoden die Einbindung der Lernenden in die Gruppe leichter verwirklichen, andererseits steigert auch ein partnerschaftliches Lehrerinnen- / Lehrerverhältnis und Schülerinnen- / Schülerverhältnis die Bereitschaft zum Lernen.

4. Förderung der persönlichen Bedeutsamkeit des Handlungsgegenstands: Auch hier kann die Lehrperson wieder maßgeblich eingreifen, indem sie zum Beispiel die praktische Anwendbarkeit des Unterrichtsstoffs oder die berufliche Verwertbarkeit herausstreicht. Immer dann, wenn es gelingt, eine Verknüpfung zu bereits bestehenden Interessen zu schaffen, oder Verbindungen zu Oberzielen herzustellen, oder die Lehrkraft eigenes Interesse bekundet, wird eine emotionale interessenssteigernde Verbindung zum Lerngegenstand hergestellt (vgl. Schiefele, 2004, S. 134ff.).

Auch Müller (2006, S. 5) untermauert mit seiner durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (Österreich) in Auftrag gegebenen Studie zur Unterrichtsentwicklung die Aussagen von Schiefele:

Es ist eine naheliegende Vermutung, dass der Physikunterricht deshalb als so unbeliebt eingestuft wird, weil der Überlapp zwischen seinen Inhalten und den Interessen der Schülerinnen und Schüler gering ist.

Läzer (2008, S. 116) stimmt dieser Aussage vollinhaltlich zu, denn ihrer Meinung nach wirkt sich ein guter Physikunterricht, der geprägt ist von anschaulichen Beispielen und vielen Anknüpfungspunkten zum Alltag, positiv auf das Interesse der Lernenden aus. Auch Bartosch (2011, S. 289) führt in seiner umfangreichen Dissertationsschrift Schülerinnen und Schüler an, die erst beim direkten Bezug zum „häuslichen Alltag“ Interesse am Gegenstand Physik zeigen. Im konkreten Fall wurden vom Physiklehrer elektrische Alltagsgeräte erklärt. Leider zeigte die Untersuchung weiters, dass durch das bloße Verwenden von Fachvokabular (Grundlast, Mittellast und Spitzenlast) das Interesse sofort wieder abnahm. Strahl und Preißler (2014, S. 122) haben die Vermutung, dass in vielen Fällen Lernende den Bezug zur Natur nicht mehr herstellen können.

Schüler akzeptieren Unterrichtsinhalte, aber glauben nicht an ihre Gültigkeit im wirklichen Leben. (Strahl & Preißler, 2014, S. 122)

Für Hopf, Wiesner, Berger, Girwidz, Heering, Höttecke, Leisen und Schecker (2011, S. 99) ist es eine pädagogische Notwendigkeit, den Begriff des Interesses zu präzisieren. So umfasst ein Interessengegenstand „nicht nur reale Objekte, sondern

auch Tätigkeiten oder Wissensgebiete, denen man sich zuwendet oder zuwenden möchte.“ Außerdem sprechen Hopf et al. (ebd., S. 99f.) erst dann von Interesse, wenn der Gegenstand „als persönlich wichtig erachtet“ wird und „die Beschäftigung damit mit positiven Gefühlen verbunden“ ist.

Hopf et al. (2011, S. 101) unterteilen unter anderem in Fachinteresse und Sachinteresse (vgl. auch Hoffmann, Häußler, Lehrke, 1998, S. 73, Daniels, 2008, S. 52). So sind für das Fachinteresse Faktoren, wie die „Einschätzung des Schwierigkeitsgrads, die Bedeutung, die dem Fach von den Klassenkameraden, den Eltern und der Öffentlichkeit zugeschrieben wird, oder auch Erfahrungen mit Physiklehrkräften“, wesentlich. Im Gegensatz dazu ist das Sachinteresse von umfassenderen Einstellungen gekennzeichnet. So stoßen Fernsehsendungen oder populärwissenschaftliche Zeitschriften mit physikalischen Bezügen auf Interesse, obwohl das Interesse im Physikunterricht wesentlich schlechter beurteilt wird.

Deci und Ryan (2000, S. 71) leiten das einer Person innewohnende Interesse (intrinsic interest) aus der in Kapitel 3.13.9 beschriebenen Selbstbestimmungstheorie her. Interessen sind ihren Forschungen zufolge vor allem eng an die intrinsische Motivation des Individuums geknüpft, und nur, wenn man es schafft, durch Innovation, Herausforderung und Herbeiführen von ästhetischer Attraktivität das intrinsische Interesse hochzuhalten, dann bleibt die persönliche Motivation bestehen (vgl. Daniels, 2008, S. 11).

It is critical⁶⁵ to remember, however, that people will be intrinsically motivated only for activities that hold intrinsic interest for them, activities that have the appeal of novelty, challenge, or aesthetic value. (Deci & Ryan, 2000, S. 71)

Schraw, Flowerday und Lehmann (2001, S. 221) und Willer (2003, S. 8ff.) messen dem Interesse wesentliche Bedeutung zu, da es direkt mit dem Lernfortschritt korreliert.

[...] interest plays an important role in learning. (Schraw et al., 2001, S. 221)

⁶⁵ critical = von entscheidender Bedeutung

Vor allem in der englischsprachigen Literatur lassen sich viele Beispiele finden, die den Zusammenhang von Interesse und Lernleistung verdeutlichen: Harackiewicz und Hulleman (2009, S. 43) gehen davon aus, dass Interessen eine sehr wichtige Rolle beim Lernen und für die weitere akademische Leistung einnehmen („interest appears to play a very important role in learning and academic achievement“) (vgl. auch National Quality Standard, Professional Learning Program, 2012, S. 2). Subramaniam (2009, S. 11) untermauert diese Aussagen:

Interest, [...] has been found to play a key role in influencing student learning behaviour and intention to participate in the future. [...] Educators have long acknowledged the importance of promoting children's interest since Dewey's (1913) groundbreaking work on the role of interest in learning.

Auch Zhang und Gu (2013, S. 103) pflichten der wesentlichen Bedeutung von Interesse – vor allem auch für mathematische Fächer – bei:

According to matheaching psychology, teachers should try to make the students "hungry" for knowledge before mathematics learning, and this can stimulate students' interest, motivation and enthusiasm in learning. (Zhang und Gu, 2013, S. 103)

Für Krapp (1998, S. 185f.) stellen Interessen eine zentrale motivationale Komponente im schulischen Lernen dar. Aus diesem Grund ist für ihn die Förderung des Interesses ein zentraler Punkt in der schulischen Bildung. Interesse ist einerseits mit der intrinsischen Lernmotivation und andererseits mit der Selbstbestimmungstheorie von Deci und Ryan verquickt. Krapp (ebd., S. 107 und S. 80) führt zahlreiche empirische Untersuchungen an, die nachweisen, dass eine durch persönliche Interessen gestärkte Lernmotivation positiven Einfluss auf die „Erlebensqualität während des Lernens“ und den „kurz- und langfristigen Output des Lernens hat.“ Nach Daniels (2008, S. 11) ist die Förderung von fachlichen Interessen wesentlich, da diese die Basis für lebenslanges Lernen bilden. Die Förderung von individuellen Interessen sind für „die Selbstdefinition und Identität einer Person relevant“, da die entstehenden stabilen Interessen als ein Aspekt der eigenen Persönlichkeit fungieren. Individuelles Interesse ist auch die Basis für die Zufriedenheit im weiteren Berufsleben. Aus diesem Grund ist es von zentraler Bedeutung, dass die Schülerinnen und Schüler der

Sekundarstufe I nicht nur fachlich geschult werden, sondern auch ihre persönlichen Interessen ausgebildet werden (vgl. Daniels, 2008, S. 11ff.).

3.14.1 Entwicklung von Interesse

Nach Korte (2015, S. 61; vgl. auch Rösch, 2006, S. 25; Ahnert, 2013, S. 260) spiegelt die Person-Gegenstands-Interaktionstheorie (POI-Theorie: engl. person-object-theory of interest) den Standard der modernen Interessentheorien wider. Dieser Theorie zufolge ist das Interesse einer Person an einen bestimmten Gegenstand oder Objektbereich gebunden (vgl. Renninger, Hidi & Krapp, 2014, S. 400). Die interessenorientierte Handlung einer Person (situationales Interesse) unterliegt also einer Wechselwirkung zwischen einer konkreten, spezifischen Situation und dem jeweiligen Interessensgegenstand (vgl. Wieder, 2009, S. 6).

Interest is a unique relation between a person and an object, or object domain, found in that person's environment. (Renninger, Hidi & Krapp, 2014, S. 400)

Der POI-Theorie zufolge wird sowohl das situationale als auch das individuelle Interesse durch kognitive sowie emotionale Faktoren geprägt (vgl. Korte, 2015, S. 62). Es kann davon ausgegangen werden, dass mehrfach erlebtes situationales Interesse zu individuellem Interesse führt.

Interesse, welches vorerst situational hervorgerufen wird und mit „handlungsbegleitenden positiven Emotionen“ einhergeht und als persönlich bedeutsam empfunden wird, „kann sich darauf aufbauend als relativ überdauerndes Personenmerkmal festigen (dispositionales Interesse).“ (Universität Bielefeld, 2016, o. S., online)

The person-object theory of interest assumes that, in the course of development, the person develops a special relation to certain parts of the environment, and that this relation has certain characteristics. Such pronounced person-environment relationships can be based on a wide variety of subjective experiences. (Renninger, Hidi & Krapp, 2014, S. 400)

So ist also möglich, dass Umwelterfahrungen zu einer Erweiterung des Selbst führen, „wobei individuelle Interessen als Bestandteil des Selbst konzeptualisiert werden“. (Ferdinand, 2013, S. 28) Im Unterschied zur emotionalen Komponente, welche „auf Basis primärer Erlebnisqualitäten, wie Gefühlen und Empfindungen“ aufbaut, wird die kognitive Komponente durch bewusste und geplante Entscheidungen geprägt. Die Interessensbildung wird also sowohl durch emotionale Faktoren als auch durch deren bewusste rationale Bewertung beeinflusst (vgl. Korte, 2015, S. 62). Riethmayer (2015, S. 109) spricht in diesem Fall von einem bewussten kognitiven Prozess und von einem nicht bewussten Prozess. Seinen Ausführungen nach hängen diese beiden zwar eng zusammen, aber „[w]ie genau hier die verschiedenen Kräfte zusammenspielen, ist nicht erforscht.“

Nach Hagenhoff (2012, S. 12) darf keine Unterscheidung zwischen subjektiven und objektiven Interessen erfolgen, denn „Interesse weist sowohl subjektive als auch objektive Elemente auf, die sich gegenseitig bedingen [...]“. Auch nach Terz (2009, S. 242) gibt es „keine Trennung von subjektivem und objektivem Interesse.“ Ihm zufolge ist „das Interesse [...] ein einheitlicher Terminus Technicus [sic!] mit subjektiven und objektiven Elementen.“

Subjektives und objektives Element bilden eine dialektische Einheit und bedingen sich gegenseitig. D. h., nur in dieser Wechselbeziehung, in diesem inneren Zusammenhang wird das Interesse geortet. Gerade dies macht das Interesse zu einem dynamischen, entwicklungs- und veränderungsfähigen Phänomen. (Terz, 2009, S. 243)

Schiefele und Schaffner (2015, S. 163) formulieren es so:

Das individuelle Interesse einer Person an einem Gegenstand setzt sich aus gefühls- und wertbezogenen Valenzüberzeugungen zusammen. Von gefühlsbezogenen Valenzüberzeugungen spricht man, wenn ein Sachverhalt für eine Person mit positiven Gefühlen verbunden ist. Von wertbezogenen Valenzüberzeugungen ist die Rede, wenn einem Sachverhalt Attribute im Sinne persönlicher Bedeutsamkeit bzw. Wichtigkeit zugeschrieben werden.

Krapp (2005, S. 386; vgl. auch Grüner, Georg & Kahl, 1982, S. 117) führt für die Entstehung personendifferenzierter Interessen emotionale Bedürfnisse wie

Wohlbefinden (well-being), Zufriedenheit (satisfaction) oder allgemeine positive emotionale Rückmeldung (general positive emotional feedback) an.

Er (ebd., S. 386) geht davon aus, dass diese emotionalen Signale auf einer unbewussten Ebene stattfinden. Erst durch das Wissen von emotionalen Reaktionen und der daraus resultierenden wertenden Bedeutung ist man in der Lage, die verwandten phänomenologischen Erfahrungen zu erkennen und in einer metakognitiven Ebene zu beschreiben.

Only when we become aware of these emotional reactions and their evaluative meaning, we are able to identify and to describe related phenomenological experiences at a metacognitive level [...]. (Krapp 2005, S. 386)

Allerdings müssen die kognitiven Darstellungen und Beschreibungen mit den ursprünglichen emotionalen Reaktionen nicht identisch sein, da die „kognitiven Weiterentwicklungen“ durch Vorerfahrungen einer Reflexion und Interpretationen unterworfen sind (vgl. ebd., S. 386).

Our cognitive representations and descriptions of these experiences, however, are not identical with original basic emotional reactions, because they are the result of cognitive “elaborations” and more or less reflective interpretations of the emotional signals on the basis of previous experiences in similar situations. (Krapp, 2005, S. 386)

Diese Vorerfahrungen sind verantwortlich dafür, dass in ähnlichen Situationen wieder ähnliche Muster auftreten. Trotzdem kann eine bemerkenswerte Änderung unserer Stimmung während des Lernens auftreten, vor allem dann, wenn sich das Wohlbefinden ändert und über mögliche Gründe nachgedacht wird (vgl. Krapp, 2005, S. 386f.).

Schraw, Flowerday und Lehmann (2001, S. 211ff.) untersuchten mehrere Möglichkeiten, um das situative Interesse, welches temporär und spontan entstehen kann, in einer Schulklasse zu erhöhen. Dabei bestätigten ihre Untersuchungen, dass das situative Interesse von Schülerinnen und Schülern veränderbar ist. Dies deckt sich mit der Feststellung von Bombelka-Urner und Koch-Priewe (1991, S. 188), denn auch

sie sind der Meinung, dass situative Dispositionen „relativ schnell veränderbar sind.“ Dieser Annahme folgend lassen sich durch didaktische Interventionen die situativen Dispositionen des Lernens beeinflussen.

Für die vorliegende Arbeit sind vor allem der fünfte („Encourage students to be active learners“) und der sechste Einflussfaktor („Provide relevance cues for students“) von Schraw, Flowerday und Lehmann (2001, S. 220) von Bedeutung. So sollen die Schülerinnen und Schüler ermutigt werden, selbst aktiv Lerninhalte zu erarbeiten, denn nur so können sie Informationen und Lerninhalte in einer tieferen Ebene aufnehmen. Gerade im Sinne des konstruktivistischen Lernens ist es unerlässlich, selbst aktiv Erfahrungen zu machen (vgl. Kunter, 2004, S. 34).

Schülerinnen und Schüler entwickeln dadurch einerseits spezielle Lernstrategien und können andererseits besser einschätzen, was sie bereits kennen oder noch wissen wollen (vgl. Schraw et al., 2001, S. 220).

Schraw et al. (ebd., S. 211ff.) beschreiben in ihrem Aufsatz, dass die Förderung des Interesses in der Schule deshalb von äußerster Wichtigkeit ist, weil so die intrinsische Motivation der Schülerinnen und Schüler gesteigert werden kann.

3.14.2 Interesse im Zusammenhang mit physikalischen Laboren

Glug, Pawek und Engeln veröffentlichten im Jahr 2005 (S. 28f.) einen Forschungsbericht, welcher unter anderem das Interesse der Lernenden am Fachgegenstand Physik nach Besuch eines Schülerinnen- und Schülerlabors untersuchte. Die Lernenden wurden drei Monate nach Besuch des Labors interviewt. Sie wurden danach gefragt, was ihnen an diesen Laborbesuchen am besten gefallen hatte. Es zeigte sich, dass bei jenen, denen normalerweise der Physikunterricht wenig Spaß machte, durch die zahlreichen Versuche das Interesse geweckt werden konnte. Relevant – auch für diese Forschungsarbeit – war, dass das Labor technische Geräte zur Verfügung stellen konnte, die in der Schule nicht vorrätig waren. Auch die Möglichkeit, direkt beim Experimentieren Fragen zu stellen, wurde sehr positiv aufgenommen.

Auf die Frage nach dem Benefit gab es folgende Rückmeldungen:

Dass Naturwissenschaften Spaß machen und dass sie auch für die Zukunft sehr wichtig sind. Man hat eine Möglichkeit, einen Fortschritt im positiven Sinne zu erreichen.

Dass Experimentieren Spaß bringt, mir zeigt, wie Forschung wirklich funktioniert und dass Experimentieren anstrengend ist.

Man braucht viele Experimente, um an ein gutes Ergebnis zu kommen. (ebd., S. 28)

Auf die Frage „was hast du vermisst“, machten einige Schülerinnen und Schüler mehrfach Angaben das Interesse betreffend:

Ich hätte gern noch mehr Experimente durchgeführt.

Etwas mehr Zeit wäre schön gewesen.

Ich hätte mir mehr selbstständiges Arbeiten gewünscht.

Ich habe vermisst, dass man Versuche selbstständig ausführen konnte. (ebd., S. 28)

Außerdem waren für die Teilnehmerinnen und Teilnehmer die Versuche immer dann besonders interessant, wenn ein konkreter Bezug zu ihrer Lebenswelt hergestellt werden konnte.

Dähnhardt, Hillebrandt und Euler (2005, S. 31) sehen das Hauptziel von Schülerinnen- und Schülerlaboren ebenfalls darin, „das Interesse an und die Aufgeschlossenheit für Naturwissenschaften und Technik zu fördern [...]“. Je nach Fachbereich sollen aus dem entstandenen Interesse weitere Ziele verfolgt werden, wie zum Beispiel die Lernenden methodisch zu unterstützen oder auch soweit zu begeistern, dass ihr Berufswunsch in Richtung Naturwissenschaft „gelenkt“ werden kann. Es wird aber auch explizit vom „Spaß am Experimentieren“ gesprochen (vgl. ebd., S. 31).

Aspetsberger (2003, S. 7) beschreibt ebenfalls, dass von Schülerinnen und Schülern durchgeführte Experimente sehr motivierend wirken und darüber hinaus sogar in vielen Fällen noch „fächerübergreifendes Denken, das Verstehen und Anwenden von physikalischen und chemischen Gesetzen sowie das Beschreiben und Modellieren von Vorgängen [...] fördern.“⁶⁶

⁶⁶ „Die Schüler waren sehr motiviert und mit großem Eifer bei der Sache. Einige von ihnen verbrachten mehr Zeit im Labor beim Experimentieren als vorgeschrieben war und sie nutzten noch Pausen und unterrichtsfreie Zeit, um die Experimente fertig zu stellen bzw. bessere Ergebnisse zu erhalten.“ (Aspetsberger, 2003, S. 7)

Außerdem stellte sie fest, dass plötzlich auch an Mathematik bzw. den Naturwissenschaften mäßig interessierte Kinder mit Begeisterung bei den Versuchen aktiv mitmachten. Mädchen waren in dieser Untersuchung besonders stolz auf die erbrachten Leistungen und Messergebnisse. Die Autorin beschreibt als weiteren Vorteil, dass gewonnene Ergebnisse durch die computerunterstützte Verarbeitung auch übersichtlicher waren.

Aus motivationstechnischer Sicht ist für die gegenständliche Arbeit aber entscheidend, dass „[s]chon allein der Umstand mit elektronischen Messgeräten zu arbeiten, [...] für sie wichtig [war], da sie für ihr zukünftiges Leben lernen müssen, mit technischen Geräten umgehen zu können.“ (Aspetsberger, 2003, S. 7)

Blömeke (2003, S. 71) weist jedoch darauf hin, dass der alleinige Gebrauch von Neuen Medien noch kein Garant für das Entstehen intrinsischer Motivation ist. Trotz guter Anwendungsprogramme kann es sein, dass nur geringes Interesse und damit nur mäßiger Lernerfolg initiiert wird. Besonderer Wert kommt daher der didaktisch überlegten Anleitung durch eine Lehrkraft zu. Den Schülerinnen und Schülern muss „die Relevanz des anstehenden Lernprozesses bewusst [gemacht werden]“. (ebd., S. 68) Außerdem verweist Blömeke (ebd., S. 71) auf die Problematik von Simulationen im Unterrichtsgeschehen. So gelingt es den Lernenden manchmal nicht, den tatsächlichen Hintergrund der virtuellen Anwendung zu sehen und die spielerische Ebene kann nicht verlassen werden. Eine weitere Gefahr besteht darin, dass die Schülerinnen und Schüler Schwierigkeiten haben, die Parameter der Simulation angemessen anzuwenden. Oftmals wird nicht gezielt die Veränderung einer Variablen angestrebt, sondern es werden wahllos mehrere Variablen verändert, was einer erfolgreichen Hypothesenprüfung im Wege steht. Daher haben die Lernenden häufig Schwierigkeiten, die Daten richtig zu analysieren und zu interpretieren. Aus diesem Grund ist bei den „einzelnen Schritte[n] der Hypothesengenerierung und beim Entwurf eines angemessenen Forschungsdesigns“ (ebd., S. 71) die Unterstützung durch eine Lehrkraft existentiell.

3.14.3 Interesse im Zusammenhang mit virtuell durchgeführten Versuchen

In Anlehnung an die in Kapitel 3.14.2 angeführte Untersuchung von Glug, Pawek und Engeln aus dem Jahr 2005 und an die Selbstbestimmungstheorie von Deci und Ryan

(Kapitel 3.13.9), wird bei der vorliegenden Studie darauf geachtet, dass bei der Durchführung von virtuellen Versuchen die Selbstbestimmung hochgehalten wird. Die Schülerin / der Schüler kann das eigene Handeln als selbstbestimmt und kompetent erleben.

Diese Forderung nach selbstbestimmtem Handeln ist durch die virtuellen Versuche in weiten Bereichen abgedeckt, denn die Schülerinnen und Schüler haben bei dieser Art von Experimenten viele Möglichkeiten, selbsttätig einzugreifen (vgl. Willer, 2003, S. 358f.). Auch Urban-Woldron (2004, S. 23) beschreibt, dass multimediale Informationssysteme, wie zum Beispiel Animationen oder Videosequenzen, selbstbestimmtes Handeln zur Verfolgung der eigenen Zielsetzung erfordern. Urban-Woldron (ebd., S. 23) spricht erst dann von virtuellen Lernumgebungen, wenn „Materialien zusammen mit bestimmten Werkzeugen angeboten [werden], die es den Benutzern ermöglichen, sich die Materialien persönlich zusammenzustellen und sich aktiv mit ihnen auseinanderzusetzen und sie zu bearbeiten.“ Scheller (2010, S. 68) sieht durch die mediale Darstellung physikalischer Inhalte, die nicht explizit für den Unterricht konzipiert wurden, „ein wichtiges Mittel zur Förderung selbstgesteuerter Lernprozesse.“ Sie geht davon aus, dass die Ergebnisse von PISA und TIMSS computergestützte Lernangebote weiter in den Fokus rücken lassen, da diese eine Möglichkeit bieten, durch „selbstgesteuerte, individuell gestaltbare Lernprozesse“ selbstständig Wissen zu erlangen.

Bolte (2003, S. 40) schreibt in seinem Artikel zur „Förderung naturwissenschaftlicher Bildung durch außerschulische und schulische Bildungsangebote“, dass selbstbestimmtes Lernen „individuelle Gestaltungsfreiräume und ein facettenreiches Lernangebot“ voraussetzt. Solche Bildungsangebote sollten den Schülerinnen und Schülern sowohl im schulischen als auch im außerschulischen Bereich zur Verfügung gestellt werden. Seinen Ausführungen zufolge hat die Schule „kein Bildungsmonopol“, d.h., naturwissenschaftliche Bildung findet natürlich auch außerhalb des Unterrichts statt (vgl. ebd., S. 40).

Keinesfalls sollte hier die Lehrperson der Schülerin oder dem Schüler durch zum Beispiel zu detaillierte Anleitungen die Kontrolle über ihr Tun entziehen, denn dies würde zu einer Demotivation führen. Durch zu viel Kontrollieren würde die Schülerin oder der Schüler eine zu starke Einengung verspüren und das Gefühl haben, fremdgesteuert zu werden und die Autonomie würde untergraben werden. Hier ist aber

kein Laissez faire-Unterricht gemeint, denn Spielräume für Lernende können nur dann erfolgreich umgesetzt werden, wenn durch gezielte Hilfestellungen Kompetenz erlebt werden kann – frei nach dem Motto, wer sich anstrengt, kann Physik verstehen. So ergeben sich für die klassischen wie auch für die virtuellen Versuche folgende Grundforderungen:

- Die Angaben müssen klar und ausreichend strukturiert sein.
- Die Leistungsanforderungen müssen den Fähigkeiten entsprechen.
- Das Arbeits- und Unterrichtstempo muss konzipiert sein.
- Die Möglichkeit der Binnendifferenzierung muss gegeben sein.

(vgl. Hopf et al. 2011, S. 103ff.)

Nach Urban-Woldron (2004, S. 15) besteht auch bei virtuellen Lernumgebungen „ein enger Zusammenhang zwischen thematischem Interesse und Wissenserwerb.“ Das bedeutet, dass eine perfekt gestaltete hypermediale Lernumgebung nur dann mit Erfolg eingesetzt werden kann, wenn die Schülerin oder der Schüler auch ein tatsächliches Interesse an dem Thema hat. Urban-Woldron (ebd., S. 17) beschreibt, dass „erfolgreiches Lernen auf intrinsische Motivation, auf Interesse und auf die aktive Auseinandersetzung der Lernenden mit dem Lerngegenstand angewiesen“ ist. Aus diesem Grund verwendete sie in ihrer Studie Software-Produkte, die zwar einerseits „stark didaktisiert“ (ebd., S. 17) waren, aber andererseits auch „selbst gesteuertes Lernen und eine explorative Auseinandersetzung“ (ebd., S. 17) zuließen.

3.14.4 Verlust von Interesse während der Schullaufbahn

Laut Definition⁶⁷ von Wild und Möller (2009, S. 163 f.; vgl. auch Rendtorff, 2015, S. 42) müsste das individuelle Interesse eigentlich über längere Zeit relativ konstant bleiben. Lackenbucher (S. 12) kommt in seiner 2001 durchgeführten Studie jedoch zu dem Ergebnis, dass sich das Interesse am Physikunterricht während der Schulzeit deutlich verändert. In der Unterstufe ist das Fach in einer extra für diese Studie entworfenen Beliebtheitsskala noch auf Stelle 4 zu finden, während es dann in der Oberstufe auf den vorletzten 11. Platz zurückfällt. Nach Berger (2002, S. 199) sinkt das Interesse der

⁶⁷ „Das individuelle Interesse kann als relativ dauerhaftes, dispositionales Merkmal einer Person verstanden werden, das sich in der Auseinandersetzung mit einem Gegenstandsbereich (z. B. Schulfach) entwickelt und als mehr oder weniger starke Wertschätzung dieses Bereichs zum Ausdruck kommt.“ (Wild & Möller, 2009, S. 163f.)

Schülerinnen und Schüler am Physikunterricht im Laufe der Schulzeit deutlich stärker als in anderen Schulfächern.

Krapp beschreibt schon im Jahr 1998 (S. 187), dass das Interesse „im Verlauf der Schulzeit scheinbar unaufhaltsam absinkt.“ Auch Pakulat (2009, S. 2) merkt in ihrer Studie „Einblick in das Wissenskonstrukt des Interesses und seine Auswirkungen auf das schulische Lernen“ an, dass „im Laufe der Schulzeit [...] das Interesse an schulischen Inhalten konstant [sinkt].“ Leider beginnt dieser Trend bereits in der Grundschule und setzt sich in der Sekundarstufe weiter fort (vgl. auch Brigido, Bermejo, Conde & Mellado, 2010, S. 25). „Noch deutlicher ist der Interessensverfall in den Schulstufen der Sekundarstufe I“. (Krapp, 1998, S. 188)

Auch Zinn (2008, S. 1) untermauert in seiner Studie diese Erkenntnisse. Seine Schülerinnen und Schüler befanden, dass das Unterrichtsfach Physik für ihre geplante Berufswahl eher unwichtig sei. Zusätzlich verringerte sich das Interesse auch durch den Umstand, dass der Physikunterricht als kompliziert und rein mathematisch empfunden wurde, sodass nur wenig Bezug zum Alltag hergestellt werden konnte.

Die Problematik, dass der Physik- und Chemieunterricht negative Emotionen hervorruft, ist jedoch nicht nur auf deutschsprachige Länder begrenzt (vgl. Brigido et al., 2010, S. 25.) Auch der „US-China Education Review“⁶⁸ kommt zu der Erkenntnis: „[S]tudies have noted that, primary school pupils usually show interest, excitement and generally positive attitudes towards science, but that decrease with age, especially during secondary education.“

In physics and chemistry, the emotions are mostly negative. (Brigido, et al., 2010, S. 25)

Für die vorliegende Arbeit ist es von großer Bedeutung, den Grund für diesen Interessensrückgang zu kennen. Hier zeigt die Studie von Lackenbucher, dass Experimente und praktische Anwendungen sowie das Schülerinnen- und Schülerexperiment während der ganzen Schulzeit als interessant empfunden werden. Im Gegensatz dazu finden Berechnungen und Herleitungen von Gesetzen am wenigsten Gefallen.

⁶⁸ „US-China Education Review, a Professional academic journal, is striving to provide [a] platform for researchers and scholars worldwide to exchange their latest findings and results“ (<http://journal-index.org/index.php/asi/index>, 2013, o. S.)

Im Unterschied zu Schülerinnen und Schülern der Unterstufe, welche Schülerinnen- und Schülerexperimente bevorzugen, wird in der Oberstufe das Lehrerinnen- und Lehrerexperiment als angenehmer empfunden (vgl. Lackenbucher, S. 13ff.).

Muckenfuß (1995, S. 43) kann den Kreis zu der von Wild und Möller aufgestellten Definition über individuelles Interesse wieder schließen, denn der scheinbare Rückgang des Interesses an Physik betrifft nicht den Fachgegenstand, sondern meint das Interesse an den „lebensbedeutsamen Kontexten“. Da diese Zusammenhänge in höheren Klassen von den Lernenden weniger wahrgenommen werden, sinkt scheinbar das Interesse.

3.14.5 Bedeutung von Interesse nach PISA und BIFIE

Die Wichtigkeit von naturwissenschaftlichem Interesse wird durch die PISA-Studie untermauert, denn

[n]eben der Vermittlung von wissenschaftlichem und technischem Wissen gehört es zu den Hauptzielen des naturwissenschaftlichen Unterrichts, das Interesse der Schülerinnen und Schüler an Naturwissenschaften zu wecken und ihre Unterstützung für naturwissenschaftliche Untersuchungen zu gewinnen. (OECD, 2007, S. 46).

Die grundlegende Haltung der Lernenden gegenüber der Naturwissenschaft beeinflusst die gesamte weitere naturwissenschaftsbezogene Laufbahn und bestimmt auch, inwieweit mit naturwissenschaftlichen Konzepten und Methoden umgegangen werden kann.

Daher bezieht sich die PISA-Definition der naturwissenschaftlichen Kompetenzen nicht nur auf die naturwissenschaftlichen Fähigkeiten, sondern auch auf die Einstellung des Einzelnen zu Naturwissenschaften. (OECD, 2007, S. 46)

Nach Definition der PISA-Studie umfasst die naturwissenschaftliche Kompetenz auch persönliche Einstellungen, Überzeugungen und motivationale Orientierungen. Dabei

wurde gezielt das Interesse an Naturwissenschaften abgefragt, wobei folgende Teilaspekte erfasst wurden:

- Beeinflussung der Neugierde im Hinblick auf naturwissenschaftliche und naturwissenschaftsbezogene Fragen und die damit verbundene Anstrengungsbereitschaft
- Bereitschaft zur Verwendung einer mannigfaltigen Methoden- und Ressourcenwahl, um neue Erkenntnisse und Fertigkeiten zu erwerben
- Durchgehendes Interesse an Naturwissenschaften bekunden, um eventuell eine naturwissenschaftliche Karriere zu beginnen (vgl. OECD, 2007, S. 46f.)

Das Bundesinstitut für Bildungsforschung, Innovation und Entwicklung des österreichischen Schulwesens (BIFIE) befindet „Einstellungen [der Jugendlichen] deshalb bedeutsam, weil sie sowohl die Leistungsbereitschaft als auch die Berufsperspektiven und die Haltungen in gesellschaftspolitischen Zukunftsfragen beeinflussen.“ (Stern, Jelemenská & Radits, 2009, o. S., online) Erstmals wurden im Jahr 2006 „die Einstellungen von Jugendlichen zu den Naturwissenschaften [...] genauer [...] untersuch[t].“ (ebd., o. S., online)

Aus dieser Studie geht leider hervor, dass Österreichs Schülerinnen und Schüler den allgemeinen und persönlichen Nutzen der Naturwissenschaften als „relativ“ gering schätzen und bei der instrumentellen (zukunftsorientierten) Motivation sogar das Schlusslicht bilden. Sie haben also im Ländervergleich die geringste Bereitschaft, „Naturwissenschaften zu lernen, weil das z. B. ihre Berufschancen erhöhen könnte oder weil sie ein auf Naturwissenschaften aufbauendes Studium erwägen [...]“. (ebd., o. S.)

Eine bereits im Jahr 2006 durchgeführte Studie verglich Deutschland mit sechs Referenzländern und untersuchte den Zusammenhang zwischen dem Interesse an Naturwissenschaften und dem entsprechenden Leistungsniveau. Unter anderem stellte sich heraus, dass in Deutschland und Österreich 56% der hochkompetenten Schülerinnen und Schüler Interesse an Naturwissenschaften hatten – die übrigen 44% gaben an, kein Interesse an naturwissenschaftlichen Fächern zu haben. Bei dieser Studie wurden auch die Auswirkungen der sozialen Faktoren Herkunft, Schulart, Geschlecht und Unterrichtswahrnehmung auf das Schülerinnen- und Schülerinteresse

untersucht. Es zeigte sich, dass nur der Faktor Unterrichtswahrnehmung⁶⁹ in Bezug auf das Interesse relevant war:

Die Schlussfolgerung daraus ist, dass die Schule besonders gefordert ist, naturwissenschaftliches Interesse zu wecken und zu vertiefen sowie die Kompetenzentwicklung zu fördern. Durch welche Unterrichtszugänge das am besten gelingt, ist noch zu erforschen. (ebd., o. S.)

3.14.6 Geschlechtsspezifische Unterschiede

In Bezug auf den allgemeinen Interessensabfall im Fach Physik stößt man in der fachdidaktischen Literatur (vgl. Müller, 2006, S. 5; Willer 2003, S. 25) immer wieder auf Studien, die geschlechtsspezifische Unterschiede festmachen. Aus der Untersuchung von Muckenfuß (1995, S. 77) geht hervor, dass in Deutschland nur 3,6% der Mädchen Physik als ihr Lieblingsfach angeben – im Gegensatz dazu präferieren 20% der Burschen den Physikunterricht.

61% der Mädchen verwiesen den Physikunterricht an die letzte Stelle der Beliebtheit, sodass in der Literatur sogar von einem Horrorfach gesprochen wird (vgl. Muckenfuß, 1995, S. 77; Wodzinski, 2009, S. 583).

Mädchen haben mit zunehmender Dauer verstärkt das Empfinden, dass keine lebensrelevanten Bezüge im Physikunterricht hergestellt werden können. Dadurch begründet sich ein stärkerer Rückgang des Interesses als bei Jungen (vgl. Muckenfuß, 1995, S. 43). Für Läzer (2008, S. 116) liegt der Grund auch im Freizeitverhalten der Mädchen, die sich in ihrem Alltag viel weniger mit Technik beschäftigen als Jungen. In ihrer Studie kam sie zu dem Ergebnis, dass interessensförderliche Faktoren von einem „aktiven und interaktiven Freizeitbezug zu Technik abhängig“ sind. (ebd., S. 116) Ihre Studie (ebd., S. 116) verdeutlichte auch, dass „das Physikinteresse in gewisser Weise auch sozial vererbt wird“. Das Physikinteresse der Mutter und des Vaters haben einen signifikanten Einfluss auf das Interesse des Kindes (vgl. ebd., S. 116; Lechte, 2008, S. 137f.).

⁶⁹ Überprüfung mittels Regressionsanalyse

Kranner (S. 90ff.) kam im Jahr 2012 in seiner Studie „Geschlechtstypisches Interesse an mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächern“ zu folgenden Ergebnissen: Ein größeres Interesse an mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächern ist dann signifikant, wenn sich Mädchen oder Jungen mit Eigenschaften des „männlichen Stereotyp⁷⁰“ identifizieren. Läzer (2008, S. 116) zeigte in ihrer Studie, dass es bei unterschiedlicher Behandlung von Jungen und Mädchen zu einem signifikant stärkeren Abfall des Interesses bei Mädchen kam. In diesem Fall fühlten sich die Mädchen durch Beeinträchtigung ihrer Chancen ungerecht behandelt. Jungen äußerten in dieser Studie für mathematisch-naturwissenschaftliche Fächer zwar ein größeres Interesse, allerdings gab es ansonsten keine signifikanten Unterschiede, durch welche auf größeres Interesse von Jungen geschlossen hätte werden können (vgl. Kranner, S. 90ff.).

2008 führte Daniels (S. 235) ebenfalls Studien zum Interessenverlust während der Schulzeit durch. Er zeigt auf, dass der Rückgang des Interesses am Schulfach Physik Burschen stärker betrifft als Mädchen.

*Das Interesse der Jungen nimmt somit in Physik über die Zeit hinweg
signifikant stärker ab als das Interesse der Mädchen [...]*

Ferdinand (2014, S. 53) beschreibt, dass es auch in anderen Schulfächern widersprüchliche Forschungsergebnisse zwischen der Motivationslage von Mädchen und Jungen gibt. Sie führt den Interessensrückgang nicht auf aktuelle Relevanz zurück, sondern vermutet vielmehr die Auswirkung von verschiedenen Schulsystemen.

Sehr ausführlich beschäftigt sich die Studie von Stadler, Hackl und Krumphals (2010) mit den geschlechtsspezifischen Unterschieden im naturwissenschaftlichen Unterricht. Als Basis für diese Untersuchung diente die PISA-Studie aus dem Jahr 2006, aus welcher hervorging, „dass Österreichs Schülerinnen wenig motiviert sind, sich mit Naturwissenschaften auseinanderzusetzen und auch in diesem Bereich über weniger Kompetenzen verfügen als ihre männlichen Kollegen.“ (Stadler et al., 2010, S. 3) Von allen in der PISA-Studie erfassten Teilnehmerinnen waren die österreichischen

⁷⁰ Mit männlichem Stereotyp meint Kranner Begriffe wie furchtlos oder ehrgeizig, also geschlechtsstereotype Eigenschaften, die von einer Gesellschaft für Mann und Frau als typisch gelten.

Mädchen am wenigsten motiviert. Am meisten Interesse zeigten die weiblichen Teilnehmerinnen des Sekundarunterrichtes in Irland.

Stadler et al. (ebd., S. 190) verweisen in ihrer Studie ebenfalls darauf, „dass insbesondere der Kontextbezug, aber auch das Experimentieren für ein naturwissenschaftsbezogenes Selbstkonzept der Mädchen von großer Bedeutung ist.“ Bei den beantworteten Items zeigten Stadler et al. folgende Unterschiede zwischen Österreich und Irland auf. Zum besseren Vergleich werden auch die Referenzwerte einer entsprechenden OECD-Studie aus dem Jahr 2007 angeführt (vgl. Stadler et al. S. 5ff.):

Aktivität	Österreich	Irland	OECD ⁷¹
Der/die Lehrer/in erklärt, wie ein naturwissenschaftliches Konzept auf Alltagsprobleme angewendet werden kann.	21%	26%	30%
Im Unterricht wird in der Klasse diskutiert.	55%	20%	35%
Ich kann meine Meinung äußern.	53%	41%	49%
SchülerInnen führen praktische Experimente im Labor durch.	16%	35%	22%
SchülerInnen sollen Schlüsse aus einem Experiment ziehen, das sie durchgeführt haben.	38%	62%	51%
Experimente werden [von dem] Lehrer / der Lehrerin durchgeführt.	33%	43%	34%
SchülerInnen machen Experimente, indem sie den Anweisungen der Lehrkraft folgen.	25%	66%	45%

Tabelle 6: Kontextbezug im Physikunterricht (Stadler et al., 2010, S. 190f.)⁷²

Aus diesem Befund lässt sich ableiten, dass dem Experimentieren in Irland in der Sekundarstufe I und II eine höhere Bedeutung zugeschrieben wird als in Österreich.

⁷¹ Auf der offiziellen Homepage der OECD (<https://www.oecd.org>) sind derzeit (September 2016) 35 Mitgliedsländer angeführt: Australien, Belgien, Chile, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Israel, Italien, Japan, Kanada, Korea, Lettland, Luxemburg, Mexiko, Neuseeland, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Schweden, Schweiz, Slowakische Republik, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich, Vereinigte Staaten.

⁷² Dieses Gendering wurde vom Fragenbogen originalgetreu übernommen.

Der Unterschied ist im Lehrerinnen- und Lehrerexperiment in geringerer Form ausgeprägt. Allerdings geben mehr als doppelt so viele Schülerinnen und Schüler aus Irland an (35% im Gegensatz zu 16%), dass sie Erfahrung mit Laborexperimenten haben. Während nur ein Viertel aller österreichischen Schülerinnen und Schüler Versuche nach Anweisung einer Lehrkraft durchführen, sind es in Irland immerhin zwei Drittel.

*Was die Motivation angeht, so geben SchülerInnen in allen einschlägigen Untersuchungen an, dass sie gerne experimentieren.
(Stadler et al., 2010, S. 190f.)*

Stadler et al. (ebd., S. 192ff.) führen eine Vielzahl von Möglichkeiten und Rahmenbedingungen an, die die Motivationslücke zwischen Mädchen und Jungen schließen könnten:

- 1) Während in Österreich oftmals bereits ein Schwerpunkt wie Sprachen, Sport oder Naturwissenschaften im Alter von zehn Jahren gewählt werden muss, wird in Irland in der Schulform Junior Cycle auf einheitliche Unterrichtsinhalte Wert gelegt. Stadler et al. (ebd., S. 193) sprechen sich für eine „Reduktion von Wahlmöglichkeiten, insbesondere in der [...] für Rollenstereotype sensiblen Phase der Pubertät“ aus.
- 2) Für die weitere Wahl des Schultypus oder die Aufnahme an eine Universität ist in Irland das Erreichen einer bestimmten Anzahl von Punkten bei einem standardisierten Testverfahren erforderlich. Stadler et al. (ebd., S. 194) vermuten allerdings, dass nicht hauptsächlich ein „learning for the test-Effekt“ für die hier auftretende gesteigerte Motivation verantwortlich ist, sondern Faktoren, wie das öffentliche Interesse an den Prüfungsergebnissen, z. B. werden in den irischen Medien sogar Lerntipps gegeben. In Österreich sind standardisierte Tests zur Überprüfung der naturwissenschaftlichen Kompetenzen in Planung, „nach derzeitigem Stand sind sie nur als Rückmeldung gedacht und ohne Konsequenzen für die SchülerInnen, und auch nicht für LehrerInnen und Schulen.“ (ebd., S. 194f.)

Nach Meinung des Autors würden diese Tests – da die Lehrperson nicht die alleinige Prüfungsinstanz wäre – bestehende Geschlechterrollen aufbrechen lassen. Mädchen und Burschen wären gleichermaßen gefordert (vgl. Stadler et al., 2010, S. 195).

Abschließend sei zu diesem Kapitel gesagt, dass alle hier angeführten Autorinnen und Autoren geschlechtsspezifische Unterschiede in der Motivation bestätigen können. Die Motivationsstärke im Physikunterricht allein auf das Geschlecht zu reduzieren wäre – nach Meinung des Autors – jedoch unprofessionell. Das Verhalten der Pädagoginnen und Pädagogen sowie andere oben beschriebene Faktoren haben einen wesentlichen Einfluss auf die Motivation von Mädchen und Jungen.

3.15 Selbstkonzept

Das Selbstkonzept besteht als kognitive Komponente des Selbst aus der Selbstwahrnehmung und dem Wissen um das, was die eigene Person ausmacht. Neben persönlichen Eigenschaften und Fähigkeiten, die man besitzt, gehören zu diesem Wissen auch Neigungen, Interessen und typische Verhaltensweisen. (Lohaus & Vierhaus, 2015, S. 181)

Wie für das Interesse lassen sich auch für das Selbstkonzept der Lernenden in Bezug auf Physik geschlechtsspezifische Unterschiede feststellen.

Jansen et al. (S. 347ff.) untersuchten im Jahr 2013 unter anderem die Auswirkungen von Interesse und Selbstkonzept auf den fachlichen Kompetenzerwerb in den naturwissenschaftlichen Unterrichtsgegenständen. In Mathematik wiesen die individuellen Fähigkeitseinschätzungen „für das Selbstkonzept [...] signifikant höhere Werte für die Jungen als für die Mädchen [auf].“ Jungen schätzten in Mathematik und Physik ihre Kompetenzen signifikant höher ein als Mädchen und bekundeten auch größeres Interesse an den Fachinhalten.

Interessanterweise gab es im Fach Biologie keinen Unterschied im Empfinden der Selbstkompetenz zwischen den Geschlechtern, obwohl Mädchen bei der Kompetenzüberprüfung besser abschnitten.

Am deutlichsten war der geschlechtsbezogene Unterschied des fachlichen Selbstkonzeptes im Gegenstand Physik. Während 44% der Jungen von einem hohen Selbstkonzept ausgingen, waren es beim weiblichen Teil der Untersuchung nur 21% (vgl. Jansen et al., 2013, S. 358). Bührmann, Diezinger und Metz-Göckel (2014,

S. 265) zeigten sogar, dass Mädchen, die sich häufiger durch maskuline als durch feminine Adjektive selbst beschrieben, davon überzeugt waren, zu einem späteren Zeitpunkt bessere Leistungen im Physikunterricht erbringen zu können, sowie „für die Physik begabt zu sein und sich im Physikunterricht aktiv beteiligt zu haben.“

Je stärker die Mädchen maskuline Eigenschaften für selbstbeschreibend hielten, desto besser war ihr auf den Physikunterricht bezogenes Selbstkonzept und desto mehr aktive Beteiligung berichteten sie. Je weniger die Mädchen feminine Eigenschaften für selbstbeschreibend hielten, desto aktiver hatten sie sich tendenziell am Unterricht beteiligt. (Bührmann et al., 2014, S. 265)

Interessant war dabei, dass „die geschlechtsbezogenen Unterschiede in den Kompetenzwerten gering“ (ebd., S. 362) waren und noch eher zugunsten der Mädchen ausfielen. Trotzdem schätzten durchschnittlich die Jungen ihr Selbstkonzept höher ein als Mädchen. Bei der Auswertung aller vier untersuchten Gegenstände (Mathematik, Biologie, Chemie, Physik) wiesen „Schülerinnen und Schüler mit höheren Kompetenzwerten im Schnitt auch ein höheres Selbstkonzept [auf] und [hatten] somit mehr Vertrauen in ihre eigenen Fähigkeiten.“ (Jansen et al., 2013, S. 359)

Auf Schülerebene geht ein höheres Selbstkonzept und Interesse tendenziell auch mit höheren Kompetenzwerten einher. (Jansen et al., S. 361)

Das kompetenzschwächste Viertel der Schülerinnen und Schüler wies nur ein 21%ig bis 38%ig (gegenstandsabhängig) hohes Selbstkonzept auf. Bei der leistungsstärksten Gruppe lagen die Werte für die Selbstkompetenz zwischen 71% und 83%.

Das hauptsächliche Ergebnis der Studie von Jansen et al. (2013, S. 361f.) ist, dass das Selbstkonzept und das damit verbundene Interesse in Physik im Schnitt am niedrigsten sind. Wie in diesem Kapitel beschrieben, macht Rabe (2010, S. 3f.) das Interesse ebenfalls vom Grad des Selbstkonzepts fest.

Bedenklich ist, dass „[w]ährend Schülerinnen und Schüler in der Primarstufe in den meisten Fächern ein hohes Selbstkonzept zeigen [...] sowohl das Selbstkonzept als

auch das Interesse in Mathematik und den Naturwissenschaften in der Sekundarstufe deutlich niedriger ausfallen“. (Jansen et al., S. 361f.)

Meist ist es der fehlende Kontextbezug des Unterrichtsfachs, der sich nicht nur auf das Interesse der Lernenden, sondern auch auf ihr Selbstkonzept auswirkt. Dies ist wiederum ein wichtiger motivationaler Einflussfaktor (vgl. Jansen, Schroeders & Stanat, 2013, S. 348; Krapp, Geyer & Lewalter, 2014, S. 201; Rabe, 2010, S. 1ff.). Westphal (2014, S. 41) beschreibt in seiner Dissertation die Wichtigkeit vom „bruchlosen Übergang“ des phänomenbasierten Physikunterrichts zur Alltagswelt der Schülerinnen und Schüler. Wenn die Lernenden den Unterrichtsstoff für alltagsrelevant halten und einen positiven Zusammenhang des physikalischen Lehrstoffes zum eigenen Selbst erkennen, würde der physikalische Kontext positiv in das eigene Selbstkonzept integriert werden. In der Studie von Hettmannsperger (2014, S. 182) korreliert der verstandene Unterrichtsstoff in Physik ebenfalls mit dem positiven Selbstkonzept der Schülerinnen und Schüler.

Nach Schurt und Waburg (2007, S. 129) besteht das Selbstkonzept aus mehreren Dimensionen: Einerseits umfasst es den Bereich des eigenen Selbst und andererseits die eigene Kompetenzüberzeugung. Die „physikbezogene Kompetenzüberzeugung [hat] direkten Einfluss auf die Bereitschaft, eine konkrete Physikaufgabe tatsächlich zu bearbeiten [...]“. (ebd., S. 129)

Der Begriff Selbstkonzept könnte vereinfacht als „Bild von sich selbst“ beschrieben werden, das durch Kognitionen und Emotionen geschaffen wird (vgl. Stangl, 2015, o. S., online; Winkelmann, 2015, S. 56). Eine umfassende Definition findet sich bei Krapp et al. wieder:

Das Selbstkonzept enthält die auf die eigene Person bezogenen Informationen und kann als mentales Modell der Person von sich selbst beschrieben werden. Neben den Einschätzungen eigener Kompetenzen und Schwächen stellen auch stabile Vorlieben und Abneigungen (z. B. persönliche Interessen) wichtige Komponenten des Selbstkonzepts einer Person dar. (Krapp et al. 2014, S. 201)

Nach den Belegen von Rabe (2010, S. 3) ist das Selbstkonzept gerade im Physikunterricht von großer Bedeutung. Schülerinnen und Schüler, die der Meinung sind, sowieso keine Begabung für physikalische Belange zu haben, werden auf Grund des reduzierten Selbstwertgefühls bei Problemen viel schneller aufgeben.

Dieses physikalische Selbstkonzept ist direkt proportional zur Interessenslage der Schülerinnen und Schüler (vgl. Rabe, 2010, S. 3; Schiefele, 2009, S. 172).

Je positiver das Selbstkonzept ist, desto eher ist eine Person bereit, sich intensiv mit einer Sache zu befassen und desto länger hält sie angesichts von Misserfolgen auch durch. (Rabe, 2010, S. 3f., vgl. auch Weißeno & Eck, 2013, S. 124)

Diese Erkenntnisse decken sich mit den Forschungsergebnissen von Rheinberg aus dem Jahr 2004:

Personen mit einem hohen Begabungsselbstkonzept behalten auch im Angesicht gehäuften Misserfolges ihre Erfolgserwartungen bei und versuchen länger, die fraglichen Aufgaben doch noch zu lösen. Sie schreiben aufgetretene Misserfolge zeitvariablen äußeren Ursachen zu (z. B. Pech). Personen mit einem Konzept schlechter eigener Begabung sehen dagegen eher in einem Fähigkeitsmangel die Ursache auftretenden Misserfolgs. Das führt zur schnellen Absenkung der Erfolgswahrscheinlichkeit und zu früherem Aufgeben bei Misserfolgen und Schwierigkeiten. (Rheinberg, 2004, S. 114)

Da sich Schülerinnen und Schüler bestimmte Inhalte und Tätigkeiten aufgrund eines verminderten Selbstkonzepts gar nicht erst zutrauen, können individuelle Interessen gar nicht erst entstehen. Das Selbstkonzept ist also für das Entstehen von Interessen von entscheidender Bedeutung (vgl. Rabe, 2010, S. 3f.; Pruisken, 2005, S. 20).

Duit und Wodzinski (2010, S. 3) nennen bei der Charakterisierung guten Physikunterrichts „[d]ie Förderung affektiver Aspekte wie Interesse und Selbstkonzept [...] [als] ein wichtiges eigenständiges Ziel des Unterrichts“.

Für das Selbstkonzept konnte etwa gezeigt werden, dass positive Leistungsrückmeldungen unter Einbezug individueller Zielvorgaben eine effektive Maßnahme zur Selbstkonzeptförderung darstellen. (Jansen et al., 2013, S. 363)

Interessant für den Umgang mit virtuellen Versuchen ist die von Neumeyer und Mikelskis (2007, S. 209) beschriebene Tatsache, dass die Lernumgebung für das Selbstkonzept eine entscheidende Rolle spielt. Das erfolgreiche Arbeiten am „Lernort

Praktikum“ steigert insbesondere das Selbstbewusstsein von Mädchen und von lernschwächeren Jungen. Neumeyer und Mikelskis (ebd., S. 209) zeigten in ihrer Studie, dass es für das Selbstkonzept der Schülerinnen und Schüler keine Rolle spielt, ob der Lernort Labor in einem externen Schülerinnen- und Schülerlabor stattfindet, oder ob die Laborsituation direkt in der Schule geschaffen wird.

Von besonderer Relevanz für die vorliegende Studie ist die Untersuchung von Urban-Woldron (2009, S. 1), da sie unter anderem motivationale und kognitive Faktoren in einer computerunterstützten Lernumgebung im physikalischen Umfeld untersuchte. Ihre Ergebnisse zeigten, dass Lernende, „die ihre schulische Leistungsfähigkeit selbst hoch einschätz[t]en“ [...] über ein sehr hohes fachspezifisches und computerspezifisches Selbstkonzept“ verfügten. (ebd., S. 3) Interessanterweise gaben Lernende, die ein sehr niedriges fachspezifisches, aber ein hohes computerspezifisches Selbstkonzept aufwiesen an, dass „sie in einer computerunterstützten Lernumgebung dazu angeregt werden, mehr und konzentrierter zu lernen, sich mehr anzustrengen und dass ihnen das Lernen von Physik leichter fällt.“ (ebd., S. 3) Dieser Effekt war sogar größer als bei jener Gruppe, die über ein hohes fachspezifisches und computerspezifisches Selbstkonzept verfügten. Eine dritte Gruppe, nämlich jene, die sowohl in der fachspezifischen als auch in der computerspezifischen Selbstwirksamkeit unterdurchschnittliche Werte erreichten, wiesen auch „durchgehend unterdurchschnittliche Ausprägungen bei der Lernmotivation und den Lernaktivitäten“ auf. (ebd., S. 3)

Zusammenfassend kann nun als sicher angesehen werden, dass das Selbstkonzept nicht immer nur von den erbrachten Leistungen abhängig ist, sondern – wie auch Interesse und Motivation – von verschiedenen Faktoren beeinflusst wird (vgl. Jansen et al., 2013, S. 358).

3.16 Flow-Erleben

Nach Rheinberg, Vollmeyer und Engeser (2003, S. 261ff.) lässt sich motiviertes Verhalten aus zwei Blickwinkeln betrachten. Einerseits wirken attraktive Folgen als wirksame Anreize, das Handeln wird also so angepasst, dass mit positiven Ereignisfolgen zu rechnen ist. Dies kann zum Beispiel ein erfolgreicher Geschäftsabschluss oder ein Urlaub sein. Andererseits kann bereits die Durchführung

der Tätigkeit Anreiz für bestimmte Handlungen sein. Rheinberg et al. (ebd., S. 261ff.) vergleichen diesen Vorgang mit dem Autofahren: Während im ersten Fall das Ziel im Fokus steht und das Auto nur ein Werkzeug ist, bietet im zweiten Fall der Fahrspaß Anreiz zur Handlung und nicht das Ziel. Wird der soeben beschriebene Zustand trotz hoher Beanspruchung als angenehm erlebt und geht mit dieser Tätigkeit ein vollständiges, reflexionsfreies Vorgehen⁷³ einher, so spricht man vom Flow.

Die mit der Tätigkeit verbundenen lustbetonten Gefühle sind so groß, dass eine völlige Fokussierung stattfindet und ablenkende Reize keine Chance haben. (Wollsching-Strobel, Wollsching-Strobel, Sternecker & Hänsel, 2009, S. 120)

Nach Rheinberg, Vollmeyer und Engeser (2003, S. 263) ist Csikszentmihalyi der erste Wissenschaftler, der sich mit dem Themenbereich des Flows auseinandersetzte, und somit der Begründer der „Flow-Theorie“.

Ausschlaggebend war die Beobachtung von geradezu fanatisch arbeitenden Künstlern. Csikszentmihalyi (2010, S. 14) beobachtete, dass sich die Maler Tag und Nacht ihrer Arbeit hingaben und ihre Umwelt dabei völlig ignorierten. War das Kunstwerk aber fertig, „schienen sie jedes Interesse daran zu verlieren. Ebenso wenig schienen sie an den Werken ihrer Kollegen oder großer Meister besonders interessiert zu sein.“ (ebd., S. 14) Csikszentmihalyi zog daraus den Schluss, dass bei den Künstlern die intrinsische Motivation im Vordergrund stand und die Freude am Vollzug der Arbeit. Während des Flows kommt es im Idealfall sogar zu einem Verlust des Zeitgefühls, auch schwierige Arbeiten werden „erfolgreich und spielend“ gemeistert (vgl. Wollsching-Strobel et al., 2009, S. 120). Auch You (2001, S. 39) spricht von einem veränderten Zeitgefühl, denn Personen, die sich im Flow befinden, haben seinen Belegen zufolge eine veränderte Wahrnehmung von chronologischen und psychologischen Gegebenheiten. Es scheint so, als würde in manchen Fällen Zeit gar nicht existieren und „Stunden scheinen oft wie Minuten zu verstreichen.“ (ebd., S. 39) Des Weiteren beschreibt Csikszentmihalyi (2010, S. 11) in der 15. Auflage seines Werkes „Das Geheimnis des Glücks“, dass er auf Grund dieser Erkenntnisse in jahrzehntelanger Forschung die positiven Aspekte menschlicher Erfahrungen, wie

⁷³ Reflexionsfreiheit meint, „dass im Flow die Aufmerksamkeit nicht auf das Selbst und das Binnenerleben, sondern auf die Regulation der voll beanspruchenden Aktivität gerichtet ist.“ (Rheinberg, et al., 2003, S. 264) Es kommt zu einer „Verschmelzung“ von Selbst und Tätigkeit (vgl. ebd., S. 264)

Spaß, Erleben von Kreativität und „den Prozess vollständigen Einsseins mit dem Leben“, untersuchte. Diesen Zustand, also jenen, „bei dem man in eine Tätigkeit so vertieft ist, daß nichts anderes eine Rolle zu spielen scheint“, nennt Csikszentmihalyi „Flow“. (ebd., S. 16) Dieser Flow-Zustand ist dann erreicht, wenn eine Person „etwas um der Sache selbst willen“ macht. (ebd., S. 20; vgl. auch Schlackl, 2012, S. 32) So können sportliche, künstlerische oder spielerische Tätigkeiten Aktivitäten sein, die den Flow auslösen. Nach anfänglichen Studien an elitären Berufsgruppen wie Malern, Athleten, Musikern, Schachmeistern und Chirurgen zeigten Csikszentmihalyis spätere Forschungsergebnisse, dass der Flow nicht vermehrt bei Reichen oder höher gestellten Personen auftritt. Menschen aller Bevölkerungsschichten erleben dieses Phänomen. Während des Flow-Zustandes kann die Aufmerksamkeit voll und ganz der Erreichung persönlicher Ziele gewidmet werden. Wahlen (2010, S. 95) spricht in diesem Zusammenhang von Gefühlen wie „Entrücktheit, Schwerelosigkeit, ein Schwebezustand, völlige Hingabe, absolutes Wohlbehagen, in sich Versunkensein.“ Voraussetzung für diese Situation ist, dass es keine Bedrohung für die Person gibt, sodass keine verteidigende Haltung eingenommen werden muss (vgl. Csikszentmihalyi, 2010, S. 16). Csikszentmihalyi zeigt in seinen Forschungen, dass im Flow befindliche Personen eine Art Schwebezustand erleben oder sich emotional von einer Welle getragen fühlen. Dieser Zustand ist gleichzeitig mit einem verstärkten Selbstbewusstsein verbunden (vgl. ebd., S. 61f.). Ein im Flow befindlicher Bergsteiger berichtet trotz schmerzlicher Krämpfe von einem Hochgefühl, welches er beim Erreichen eines Ziels verspürt. Er spricht von Ekstase und Selbsterfüllung (vgl. ebd., S. 63).

Im Zustand des Flows herrscht höchste Konzentration im Selbst, denn alle Gedanken und Gefühle sind auf ein bestimmtes Ziel fokussiert und dadurch auch klar strukturiert und geordnet. Selbst nach der Flow-Episode, „fühlt man sich ‚gesammelter‘ als zuvor, nicht nur innerlich, sondern auch mit Blick auf andere Menschen und die Welt im allgemeinen. [sic!]“ (ebd., S. 64)

Csikszentmihalyi (ebd., S. 80) führt in seinen Forschungsarbeiten viele Beispiele an: Eine Mutter, die mit ihrem Kind gemeinsam ein Buch liest, ist völlig in diese Aufgabe vertieft und meint sogar, dass sie den Kontakt zum Rest der Welt verlieren würde. Sehr ähnlich beschreibt auch ein Schachspieler seine ausschließlich auf das Turnier

fokussierte Konzentration: „Das Dach könnte einstürzen, und man würde es – falls es [...] einen nicht direkt trifft – nicht bemerken.“ (ebd., S. 80)

Nach Csikszentmihalyi (ebd., S. 81) darf sich eine Außenstehende oder ein Außenstehender von der scheinbaren Mühelosigkeit eines im Flow Befindlichen nicht täuschen lassen, denn „[o]ft bedarf es dazu schwerer körperlicher Anstrengung oder einer hochdisziplinierten geistigen Aktivität.“ (ebd., S. 81) Im Unterschied zum gewöhnlichen Alltagsleben, in dem Aktivitäten kritischer Reflexionen unterliegen, besteht während des Flows „keine Notwendigkeit zur Reflexion, da die Handlung uns wie durch Zauber weiterträgt.“ (ebd., S. 81) Dies geht soweit, dass während des Flow-Erlebens negative Lebensaspekte vollständig ausgeblendet werden und die Tätigkeit voller Freude erlebt wird.

You are so involved in what you're doing you aren't thinking about yourself as separate from the immediate activity. You're no longer a participant observer, only a participant. You're moving in harmony with something else you're part of. (Csikszentmihalyi, 1975, S. 86)

Zu einem ähnlichen Befund kommen auch Jackson & Csikszentmihalyi (1999, S. 5) in der Zeitschrift „Flow in Sports“. Auch hier wird das Phänomen Flow mit der totalen Hingabe zur erlebten Tätigkeit beschrieben, während andere Gefühle komplett ausgeklammert werden.

The accounts the two athletes, the swimmer and runner, gave describe several components of the Flow experience. First of all, it is a state of consciousness where one becomes totally absorbed in what one is doing, to the exclusion of all other thoughts and emotions. So Flow is about focus. More than just focus, however, Flow is a harmonious experience where mind and body are working together effortlessly, leaving the person feeling that something special has just occurred.

Wie in der vorliegenden Arbeit bereits mehrfach erwähnt, liegen derzeit noch keine Forschungsergebnisse auf, die die Motivation von Lernenden in der Sekundarstufe I bei der Durchführung von virtuellen Versuchen im Physikunterricht untersucht. Somit lassen sich auch keine Daten zur intrinsischen Motivation oder gar zum Flow-Erleben bezüglich dieser Fragestellung finden.

Allerdings wurde in einer ähnlich gelagerten Studie von Bätz, Beck, Kramer, Niestradt und Wilde (2009, S. 307ff.), die die Auswirkungen von „Schülermitbestimmung im Biologieunterricht“ (ebd., S. 301) im Hinblick auf die intrinsische Motivation und den Wissenserwerb untersuchte, auch das Flow-Erleben von Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I näher beleuchtet. In der Experimentalgruppe konnten die Schülerinnen und Schüler mit Mehrheitsentscheid festlegen, wie sie den Lehrstoff erlernen wollten. Dem Wunsch nach Experimenten in Form einer Gruppenarbeit, vermehrtem Zugang zu Modellen, selbstständigem Mitschreiben und Bewältigung eines Rätsels wurde seitens der Lehrperson nachgekommen. Ebenso wurde auf Grund des Schülerinnen- und Schülervotums auf „Tafelanschrieb oder eine diktierter Zusammenfassung verzichtet“ (ebd., S. 315) und stattdessen z. B. eher ein Film gezeigt oder ein Plakat erstellt. Da der Lehrstoff mehrere Unterrichtseinheiten umfasste, wurden die Methoden laufend adaptiert und erweitert.

Bei den „Messungen berichten die Probanden der Experimentalgruppe signifikant [über ein] bedeutsam erhöhtes Flow-Erleben. [...] Die Schülermitbestimmung hat sich deutlich positiv ausgewirkt.“ (ebd., S. 315) Entscheidend für das Lernen ist die Tatsache, dass der Flow-Zustand von einer positiven Erlebnisqualität begleitet wird und daraus „große[] Leistungsfähigkeit“ resultiert. (Bendorf, 2013, S. 149)

Wie Bätz et al. (2009, S. 319) anmerken, ist „eine gute Passung von Handlungsanforderungen und Fähigkeiten der Schüler (angemessenes Unterrichtsniveau)“ eine maßgebliche Voraussetzung für das Flow-Erleben.

Diese Erkenntnis dient auch als Grundlage für die vorliegende Untersuchung, denn gerade bei der Durchführung von virtuellen Versuchen soll der Lernende das Gefühl von Selbstbestimmung erfahren. In vielen Fällen kann bei virtuellen Versuchen der Schwierigkeitsgrad selbst gewählt werden (→ gute Passung von Handlungsanforderungen). Als Beispiel seien hier die virtuellen Versuche der Universität Bayreuth (Hauenstein, 2002, o. S., online) angeführt. Hier lässt sich der Schwierigkeitsgrad vom einfachen Bedienen eines virtuellen Multimeters bis hin zu interaktiver Spannungs- und Strommessung kontinuierlich steigern. Als kniffligste Aufgabe muss die Strom- und Spannungsstärke dann in einem Versuchsaufbau gemessen werden, der mit mehreren Widerständen bestückt ist.

3.17 Motivation im pädagogischen Kontext

Schnotz (2009, S. 13) beschreibt die Pädagogische Psychologie als Teildisziplin der Psychologie (vgl. auch Wild & Möller, 2009, S. VII), die pädagogische Prozesse auf Basis psychischer Aspekte erklärt. Nach Myers (2008, S. 842) nimmt die pädagogische Psychologie „eine Vermittlerrolle zwischen Pädagogik und Psychologie ein“, wobei die Entwicklung der pädagogischen Psychologie ein laufender Prozess zwischen Theorie und Praxis ist.

Das Wort Pädagogik stammt aus dem Griechischen. Es bedeutete ursprünglich die Führung von Knaben, später von Kindern allgemein. Heute versteht man unter Pädagogik die Führung von Menschen zu bestimmten kognitiven, motivationalen und affektiven Zielen ihrer Persönlichkeitsentwicklung. (Schnotz, 2009, S. 14; vgl. Lederer, 2014, S. 33)

Aus dieser Definition lässt sich folgern, dass Motivation ein unabdingbarer Bestandteil moderner Pädagogik ist (vgl. auch Winther, 2007, S. 137). Auch wenn in der reinen Begriffsübersetzung aus dem Altgriechischen Pädagogik mit Erziehung oder Bildung gleichgesetzt wird⁷⁴ (vgl. Lederer, 2014, S. 30) und eine Höherentwicklung des Menschen durch Bildungs- und Erziehungsprozesse zum Ziel hat, gehört es laut pädagogischer Literatur zu den grundlegenden Aufgaben der Lehrerin und des Lehrers, die Lernenden zu aktivieren und zu motivieren (vgl. Stangl, 2015, o. S., online).

Myers (2008, S. 843) definiert die Pädagogische Psychologie als wichtige Komponente für Erziehung, da ihre „Aufgabe die Erforschung von Erziehung aus [der] Perspektive und mit den Mitteln der Psychologie“ ist. Seinen Ausführungen nach zielt Pädagogik auf die beabsichtigte und bewusste Einflussnahme einer Lehrperson auf das Handeln einzelner Menschen oder Menschengruppen ab. Im Gegensatz dazu ist es dem psychologischen Ansatz nach „zweckmäßiger, den Handlungs- und Interaktionsaspekt in den Vordergrund zu stellen.“ Nach Myers (ebd., S. 843) werden im Zuge des psychologischen Ansatzes die vorhandenen Rahmenbedingungen dazu genutzt, „die Lern- und Entwicklungsprozesse eines Menschen“ (ebd., S. 843) optimal

⁷⁴ Pädagogik (griech. Paideia): Erziehung, Bildung (pais: Knabe, Kind und „agogein“: führen) (vgl. Lederer, 2014, S. 30)

zu fördern. Dabei wird Lernen nicht nur durch Erziehungsmaßnahmen an Personen oder Personengruppen gefördert. Auch Lehrprogramme, „die auf dem Computer laufen, [...] oder Angebote zu selbst organisiertem Lernen“ fördern den Lern- und Entwicklungsprozess. (ebd., S. 843)

Nach Schnotz (2009, S. 14; vgl. auch Graßhoff, Ullrich, Binz, Pfaff & Schmenger, 2013, S. 187 ff.; Myers, 2008, S. 843) werden Kinder und Jugendliche durch pädagogische Prozesse in Familie, Kindergarten, Vorschule, Schule, Hochschule und Weiterbildungsstätten geprägt. Myers (2008, S. 843) geht davon aus, dass Eltern bestimmte Erziehungsmaßnahmen intuitiv richtig setzen, wie zum Beispiel die altersgerechte sprachliche Kommunikation. Selbst die Tonhöhe wird in der sogenannten Ammensprache (oder auch „baby talk“ genannt) so gewählt, dass die Aufmerksamkeit des Kindes auf die relevanten sinnerschließenden Wörter gelegt wird. Das pädagogische Führen von Menschen dient dazu, bestimmte kognitive, motivationale und affektive Ziele der Persönlichkeitsentwicklung zu erreichen (vgl. Schnotz, 2009, S. 14.). Schäfer (2009, S. 12) spricht in diesem Zusammenhang vom Ziel der Realisierung der ganzheitlichen Persönlichkeitsentfaltung. Aufgabe der Pädagogik ist es also, auch „entsprechende Handlungs- und Erfahrungsräume anzubieten, die selbstbestimmte Zukunftsgestaltung und sinnerfüllte Eigentätigkeit ermöglichen.“ (ebd., S. 12) Pädagogik hat daher die Aufgabe, neben Kenntnissen, Fähigkeiten und Fertigkeiten den jungen Menschen auch die Möglichkeit zu bieten, selbstbestimmt die Zukunftsgestaltung in die Hand zu nehmen. Schnotz (2009, S. 19) sieht im pädagogischen Wirken das Beschreiten eines gemeinsamen Weges, auftretende Hindernisse sollten durch pädagogisch-psychologische Interventionen bewältigbar gemacht werden. Nach Wenzel (2013, S. 173) sollen auch in der Schule Maßnahmen ergriffen werden, die Problemsituationen für Jugendliche erträglicher machen, „damit sie während des Aufwachsens an sie gestellte Aufgaben besser und aus eigener Kraft, eventuell unter fachkundiger Anleitung bewältigen können.“ Schnotz (ebd., S. 19) nennt als Hindernis hier explizit das Problem mangelnder Motivation. Schäfer (2009, S. 12) spricht in diesem Zusammenhang von „Unlust, Interesselosigkeit, Motivationsschwäche“. Beide Autoren fordern, dass Pädagoginnen oder Pädagogen in diesem Fall intervenieren müssen:

Als Intervention bezeichnet man das Eingreifen in einen Sachverhalt, um erwünschte Veränderungen herbeizuführen. Beispiel für eine

pädagogisch-psychologische Intervention ist die Durchführung eines Motivationsförderungsprogramms bei Lernenden mit geringer Leistungsmotivation. (Schnotz, 2009, S. 19)

Die dazu erforderlichen „Erziehungsprozesse beziehen sich auf motivationale und affektive Aspekte der Persönlichkeitsentwicklung, also auf den Erwerb von Werthaltungen, Einstellungen usw.“ (Schnotz, 2009, S. 21) und sollen die „selbstbestimmte Zukunftsgestaltung und sinnerfüllte Eigentätigkeit ermöglichen.“ (Schäfer, 2009, S. 12)

Schnotz (2009, S. 33) weist auf Studien und Metastudien aus den Jahren 1970 bis 1988 hin, die belegen, dass sich offene Unterrichtsformen, die selbstgesteuertes Lernen ermöglichen, positiv auf Leistungsmotivation, Kooperationsbereitschaft, Selbstständigkeit und Kreativität sowie die Einstellung der Lernenden zur Schule auswirken, wenn auch nur in geringem Maße.

Auch die im Jahr 2009 erstellte Hattie-Studie, die über 700 Metastudien vorrangig aus den 80ern und 90ern miteinbezieht, bestätigt dieses Ergebnis. So hat offener Unterricht mit einer Effektstärke von 0,01⁷⁵ nahezu keine positive oder negative Auswirkung auf den Lehrerfolg.

Für diese Arbeit ist allerdings relevant, dass Hatties Studie ein positives Selbstkonzept, Angstreduktion, Motivation, das Gefühl der Kontrolle über das eigene Lernen, Autonomie, das Setzen eigener Ziele etc. als grundlegende Faktoren für erfolgreiches Lernen bestätigt (vgl. Peschel, 2013, S. 12ff.).

Der Autor der vorliegenden Studie ist der Meinung, dass virtuelle Experimente viele der genannten Aspekte für selbstbestimmtes Handeln abdecken. Außerdem brauchen die Schülerinnen und Schüler während des Versuchs keine Angst um Gesundheit, Leben oder Inventar zu haben. Der Lernende kann das Lerntempo selbst bestimmen und auch autonom eigene Ziele umsetzen. Diese Experimentierform kann somit zur Stärkung der Motivation beitragen und „Motivation ist eine notwendige Bedingung für

⁷⁵ „Eine Effektstärke als schwach, mittel oder stark zu bezeichnen, hängt stark vom Untersuchungsgegenstand ab. Um sich nicht der Gefahr auszusetzen, schon geringste Effekte als positives Ergebnis zu analysieren, legt Hattie den `Umschlagpunkt`, ab dem er von einer `übergroßen Lernleistung` spricht auf 0,40; ab 0,60 spricht er von `exzellent`. Der Umschlagpunkt 0,40 ist ein Durchschnittswert und es ist nicht auszuschließen, dass in manchen Bereichen auch schon niedrigere Werte beachtlich sind oder in anderen höhere selbstverständlich. Er sollte als Richtwert für Diskussionen gelten.“ (Peschel, 2013, S. 13)

Bildung und Erziehung, da jeder pädagogische Prozess eine Kooperation zwischen den Beteiligten voraussetzt und dieses gemeinsame Handeln einer entsprechenden Motivation bedarf.“ (Schnotz, 2009, S. 67)

Diese Feststellung deckt sich auch mit Hatties Untersuchung, denn die Motivation der Schülerinnen und Schüler hat seinen Ausführungen zufolge – wie auch in Kapitel 6 ausführlich erklärt – eine Effektstärke von 0,48, was eine „übergroße Lernleistung“ zur Folge hat (vgl. Rees, 2013, S. 6ff.).

3.18 Lerntheorien

Dem Einsatz digitaler Medien, wie auch aller anderen Medien im Unterricht sollten immer didaktische und methodische Überlegungen vorausgehen (vgl. Dorn, 2015 S. 53 f.; Stadtfeld, 2004, S. 85). Leider wird aber in der Praxis bei Lernmedien den „technische[n] Überlegungen eine viel größere Bedeutung als [den] pädagogischen beigemessen“ und die didaktische und pädagogische Komponente wird oft nachrangig behandelt. (Tigges, 2008, S. 240)

Um wissenschaftlich verwertbare Erkenntnisse über den Einsatz von virtuellen Versuchen in der Sekundarstufe I im Physikunterricht zu erhalten, referenziert der Autor inhaltlich auf den österreichischen Lehrplan für Physik.⁷⁶

Die im Folgenden angeführten Lerntheorien sollen einen Überblick darüber geben, welchen Lerntheorien digital durchgeführte Versuche zugeordnet werden können. Hier muss nochmals darauf hingewiesen werden, dass in der vorliegenden Arbeit nicht der Wissenserwerb in Verbindung mit der jeweiligen Lerntheorie im Vordergrund steht, sondern die daraus ableitbaren Folgen für die Motivation, die im wechselseitigen Zusammenhang zum Lernprozess steht.

Häufig wird in der aktuellen Literatur (Tulodziecki, Grafe & Herzig, 2013, S. 69; Kircher, Girwidz & Häußler, 2014, S. 168; Rohlfes, 2005, S. 228; Schanz, 2013, S. 78) das Modell nach Roth (1965, S. 179) als grundlegender lerntheoretischer Ansatz herangezogen, welcher die Lernschritte stufenweise beschreibt. Auf der ersten Stufe dieses Modells, also dem Fundament, steht die Motivation gefolgt von der Stufe der Schwierigkeit. Dann folgen aufsteigend die Stufe der Lösung, die Stufe des Tuns und

⁷⁶ Vom Autor der vorliegenden Arbeit wurde bewusst darauf Wert gelegt, dass die Lerninhalte sowohl in österreichischen Lehrplänen als auch in deutschen Bildungsplänen explizit aufgeführt werden.

die Stufe des Ausführens, welche die Unterstufe des Behaltens und Einübens beinhaltet. Schließlich führt Roth die Stufe des Bereitstellens und jene der Übertragung sowie der Integration des Gelernten an. Tulodziecki et al. (2013, S. 150f.) konkretisieren – basierend auf den Erkenntnissen von Kummer (1991) – in ihrem Aufsatz „Beispiel einer praxis- und theorieorientierten Entwicklung“, die didaktische Vorgangsweise bei Verwendung von Computersimulationen im Unterricht. Sie führen sieben Schritte an:

- 1) Schaffung eines Problembewusstseins und Erkennen der Themenrelevanz der Computersimulation
- 2) Konkretisierung der Zielvorstellung sowie Auseinandersetzung mit dem Problem und der Zielvorstellung
- 3) Erarbeitung und Diskussion von möglichen Lösungsansätzen
- 4) Bearbeitung des Problems mithilfe der zur Verfügung stehenden Computersimulation
- 5) Rückmeldung durch die Computersimulation oder durch die Lehrperson
- 6) Neuerliche Dateneingabe in die Computersimulation basierend auf den bereits erhaltenen Rückmeldungen und Diskussionen
- 7) Rückschau auf den Lernprozess, insbesondere auf die Relevanz der Computersimulation und Transferierung auf andere Anwendungsgebiete

Im Folgenden werden verschiedene lerntheoretische Grundannahmen erläutert und jene herausgearbeitet, auf denen die durchzuführende Studie basiert, „denn sie sind von entscheidender Bedeutung für die Implementierung von Neuen Medien in den Unterricht.“ (Stadtfeld, 2004, S. 75)

3.18.1 Behavioristische Lerntheorie

In der behavioristischen Lerntheorie wird „Lernen als beobachtbare Verhaltensänderung verstanden, die als Reaktion auf Umweltreize erfolgt.“ (Arnold, 2005, S. 2; Klein & Flad, 2009, S. 21). Nach Zimbardo (2013, S. 10) besagt der klassische Behaviorismus, „dass das Verhalten vollständig durch Umweltbedingungen determiniert ist.“ Bekannte Behavioristen (Pawlow, Watson, Guthrie, Thorndike) gingen in ihrer Stimulus-Reiz-Response-Reaktion-Theorie davon aus, dass nach

einem äußeren Reiz immer eine Reaktion eintritt und prägten den Begriff des „klassischen Konditionierens“. Mienert und Pitcher (2011, S. 40) artikulieren ebenfalls, dass behavioristische Theorien einen systematischen Zusammenhang zwischen dem Reiz (S) und dem handelnden Individuum (Reaktion R) beschreiben. Ihren Aussagen zufolge ist das Verhalten jedoch nicht direkt beeinflussbar, „sondern wird indirekt gesteuert durch die Stimuli, die es auslösen sollen, und die Verhaltenskonsequenzen, die die Auftretenswahrscheinlichkeit eines Verhaltens erhöhen oder verringern.“ Des Weiteren sind für eine Reaktion natürlich die organismischen Voraussetzungen ausschlaggebend.

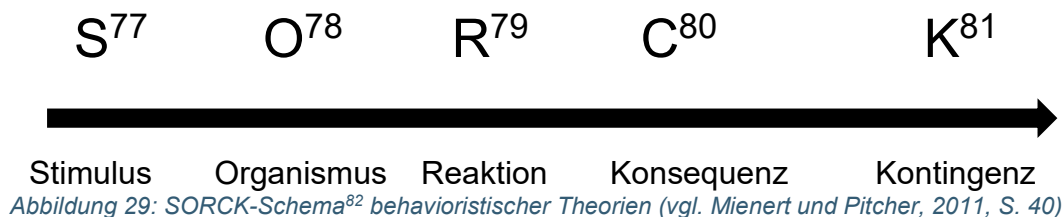


Abbildung 29: SORCK-Schema⁸² behavioristischer Theorien (vgl. Mienert und Pitcher, 2011, S. 40)

Individuelle innerpsychische Vorgänge und sogar der menschliche Verstand werden beim behavioristischen Modell nicht berücksichtigt (vgl. Arnold, 2005, S. 2). Dieser Ansatz geht davon aus, dass Vererbung vernachlässigbar ist und der Mensch durch Umweltreize geprägt wird. Demzufolge sind Menschen „grundsätzlich weder gut noch böse, sondern reagieren einfach auf die Umweltgegebenheiten.“ (Zimbardo, 2013, S. 10)

Skinner entwickelte den behavioristischen Ansatz weiter, indem er unterschiedliche Verhaltensreaktionen des Individuums untersuchte. In der „Skinner-Box“ konnten Ratten einen Hebel bedienen, während die eine Ratte nach Betätigen des Hebels Futter bekam, konnte die andere Ratte unangenehme Stromstöße abschalten. Ratte 3 wiederum erhielt beim Drücken des Hebels einen Stromschlag. Während Ratte 1 und Ratte 2 den Hebel immer wieder bedienten, wurde der Hebel von Ratte 3 nicht mehr betätigt. Ob die Ratte den Hebel betätigt, hängt also von einer zweiten Bedingung ab,

⁷⁷ S meint situative Merkmale (z. B. externe Merkmale)

⁷⁸ O meint Organismusvariablen, wie z. B. biologische Dispositionen

⁷⁹ R meint Reaktionskomponenten, welche motorischer, kognitiver, emotionaler und physiologischer Natur sein können

⁸⁰ C meint die auf die Reaktionen folgenden Konsequenzen

⁸¹ K meint die Kontingenzverhältnisse, wie z. B. prompte positive oder intermittierende Verstärkung oder auch negative Auswirkungen (vgl. Berking & Rief, 2012, S. 15ff.)

⁸² In der Literatur wird sowohl die Bezeichnung „SORCK-Modell“ (vgl. Berking & Rief, 2012, S. 15ff.; Mienert & Pitcher, 2011, S. 40) als auch der Terminus „SORKC-Modell“ gebraucht (vgl. Bortz & Döring, 2015, S. 315).

dabei versucht das Versuchstier positive Konsequenzen ("satisfier") herbeizuführen und unangenehme Konsequenzen ("annoyer") zu vermeiden. Skinner spricht in diesem Zusammenhang von der operanten Konditionierung (vgl. Plassmann & Schmitt, 2015, o. S., online).

Bei der operanten Konditionierung erfolgt eine Verstärkung auf eine gezeigte Verhaltensweise. Als Verstärkung zählt eine bestimmte Konsequenz, die über die Wiederholung des gezeigten Verhaltens entscheidet. Skinners Lerntheorie basiert auf dem Einsatz der Verstärkung nachdem ein "lernendes" Individuum eine erwünschte Verhaltensweise gezeigt hat. (Plassmann & Schmitt, 2015, o. S., online)

Plassmann und Schmitt (ebd., o. S., online) führen als Beispiel einen Schüler an, der bereits mehrfach zu spät im Unterricht erscheint. Da der Lehrer keine negative Konsequenz für diesen Schüler setzt und der Zuspätkommende von den Mitschülerinnen und Mitschülern sogar noch Bewunderung erfährt, wird die positiv erlebte Konsequenz den Schüler höchstwahrscheinlich wieder dazu anregen, zu spät zu kommen.

Wie Arnold (2005, S. 2f.) erklärt Zens (2015, S. 1) in seinem Artikel zum E-Learning ebenfalls das operante Konditionieren nach Skinner. Die Herbeiführung eines positiven Reizes (positive Verstärkung) durch eine Lehrkraft kann zu einer häufigen Wiederholung des Verhaltens führen.

Nach Faulstich (2014, S. 36) lässt der behavioristische Ansatz im naturwissenschaftlichen Bereich „ausschließlich [...] sichtbares und messbares Verhalten als Gegenstand wissenschaftlichen Vorgehens“ zu. Diesem Modell nach ist Lernen also kein innerer Vorgang, sondern nur das Produkt von Beobachtungen.

Auch Arnold (2005, S. 2f.) führt deutlich die Kritikpunkte des behavioristischen Ansatzes an. Zum einen stammen „die Erkenntnisse ausschließlich aus Tierexperimenten und Laborsituationen mit wenig Bezug zu realen Situationen menschlichen Lebens“, zum anderen sind „höhere[] geistige[] Vorgänge[] wie Wahrnehmung, Denken, Problemlösung [...] nicht berücksichtigt. (ebd., S. 36)

Zens (2015, S. 1) sieht die Berechtigung von behavioristischen Strategien darin, Faktenwissen zu vermitteln. Er stellt das Lernziel in den Vordergrund, denn wenn der

Lernende genau weiß, was von ihm verlangt wird, kann er versuchen, das Ziel zu erreichen und sich dadurch positive Konsequenzen erhoffen.

Für Zens (ebd., S. 1) sind virtuelle Lernumgebungen, deren Basis das behavioristische Lehrmodell ist, nur für Anwendungsbereiche wie Vokabeltrainer oder einleitende, einfache Grundverständnisaufgaben tauglich. Nach Busse (2002, S. 73) kann eine Multimedia-Anwendung sowieso „lediglich die Wiedergabe von Informationen“ abprüfen und vernachlässigt somit „individuelle Faktoren der Lernenden“. Zens (ebd., S. 1) verweist bei derartigen Anwendungen auf das hohe Frustrationspotenzial und sieht dies als Antagonismus zur Motivation. Problematisch ist für ihn (ebd., S. 1), dass mit dem behavioristischen Modell das „volle Potenzial der Neuen Medien wie Hypertextstrukturen, Adaptivität und semantische Verknüpfungen“ nicht [...] ausgenutzt werden kann.

Nach Schütt (2015, S. 57) hat der Behaviorismus anfänglich die sogenannten Computer Based Trainings dominiert, die durch „kleinschrittiges Vorgehen“ geprägt waren.

Das Lernen erfolgt aufgrund der gegebenen Umweltreize.

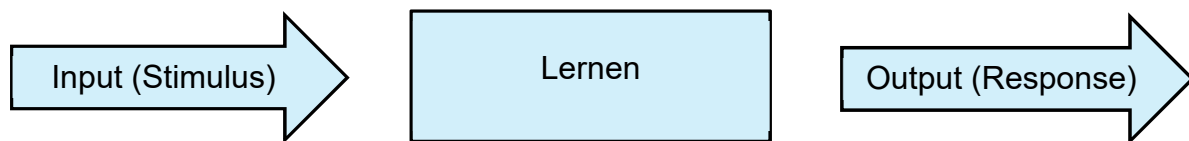


Abbildung 30: Stimulus-Response-Modell (vgl. Schütt, 2015, S. 56)

Heute werden diese Programme viel seltener und vorwiegend zum Trainieren von basalen Rechenfertigkeiten oder als Sprachprogramme genutzt.

Alm (2007, S. 4) schließt sich diesen Aussagen an, denn auch ihrer Ansicht nach können behavioristische Lernprogramme nur dem Modell Frage (Reiz) → Antwort (Reaktion) → Bestätigung/Korrektur (Verstärkung) folgen.

Nach dem behavioristischen Ansatz kann die auftretende Motivation, auf Grund der angeführten Abhängigkeit, ausschließlich als extrinsisch bezeichnet werden (Alm, 2007, S. 4). Busse (2002, S. 92) erörtert ausführlich, dass „multimediale[] Erlebnissräume mit ihrer virtuellen Wirklichkeit [...] abwechslungsreich und fesselnd [sind]“ und durch auditive und visuelle Eindrücke die intrinsische Lernmotivation steigern. Für Busse (ebd., S. 93) haben einzelne Schülerinnen und Schüler im konventionellen Unterricht „kaum die Möglichkeit, Lernumgebung, Lernzeit oder

Lernweg zu bestimmen.“ Erst Computerprogramme, die einen selbstgesteuerten Lernweg zulassen, ermöglichen einen Anstieg von Motivation und Interesse.

Aus den soeben angeführten Erkenntnissen geht klar hervor, dass der behavioristische Ansatz im Umfeld multimedialer Anwendungen aufgrund der Folge einer reinen Reiz-Reaktion-Gleichung einen Antagonismus zur Motivation (Zens, 2015, S. 1) darstellt oder Motivation nur ausschließlich extrinsisch auftritt (Alm, 2007, S. 4). Somit wird dieser Lerntheorie im weiteren Verlauf der vorliegenden Forschungsarbeit nicht mehr nachgegangen.

3.18.2 Kognitivistische Lerntheorie

Anders als beim Behaviorismus stehen beim kognitivistischen Ansatz interne Prozesse, wie „Wahrnehmung, Gedächtnis, Denken, Problemlösestrategien, Sprechen und Sprachverstehen“ im Mittelpunkt (Arnold, 2005, S. 3; vgl. Zens, 2015, S. 1; Schütt, 2015, S. 57; Zrnka, 2009, S. 12; Göhlich & Zirfas, 2007, S. 24). Der Kognitivismus geht also davon aus, dass „Lernen auf kognitiven Strukturen beruht“ (Busse, 2002, S. 74) und einen explorativen Charakter hat. Die behavioristische Sichtweise wird dabei nicht negiert, jedoch wird menschliches Lernen nur in einem geringen Maße durch die Reiz-Reaktionsverknüpfung begründet.

Folgende Annahmen werden favorisiert:

- „Lernen ist innengesteuert und relativ bewusst
- Menschen befinden sich in einem Erkenntnisprozess
- Handeln wird durch Denken bestimmt
- kognitive Repräsentationen dienen als Bindeglied zwischen äußeren Einflüssen und individuellem Handeln
- Reize werden bewertet und verarbeitet
- kognitive Repräsentationen werden bestimmt durch ihren Inhalt, den Informationskanal und die Art ihrer Repräsentation
- Assimilations- und Akkommodationsprozesse führen zu einer Adaptation zwischen äußerer Welt und ihrer inneren Repräsentation im Lernenden
- Lernen führt zu Wissenserwerb, dieser macht Verhaltensänderungen möglich, aber nicht notwendig“ (Mienert & Pitcher, 2011, S. 43f.)

Ähnlich beschreiben Nückles und Wittwer (2014, S. 227) den Wandel vom behavioristischen zum kognitiv-konstruktivistischen Ansatz des Lernens:

Die in der Zeit des Behaviorismus vorherrschende verhaltensorientierte Erforschung und Interpretation des Lernens wurde durch Forschungsansätze abgelöst, die sich explizit mit der Analyse innerer (kognitiv repräsentierter) Prozesse des Lerngeschehens befassen. (ebd., S. 227)

Besonders interessant für die vorliegende Arbeit ist, dass die kognitivistischen Forschungsansätze „teilweise durch Entwicklungen im Bereich der Kommunikationstechnik und der Computerwissenschaft inspiriert [...] [waren und sich dadurch auszeichneten,] dass sie Phänomene wie Denken, Lernen und Problemlösen im weitesten Sinne als Prozesse der Informationsverarbeitung konzeptualisierten.“ (Nückles & Wittwer, 2014, S. 227) Schütt (2015, S. 57) untermauert diese Aussage, denn auch ihren Ausführungen zufolge kann Lernen mit dem Verarbeitungsmodell des Computers verglichen werden.

Zens (2015, S. 1) ergänzt, dass hier nicht wie beim Behaviorismus das Faktenwissen im Vordergrund steht, sondern Problemlösekompetenz geschult wird. Eigenverantwortliches Handeln wird als weit höheres Gut gesehen als rein auswendig gelerntes Wissen.

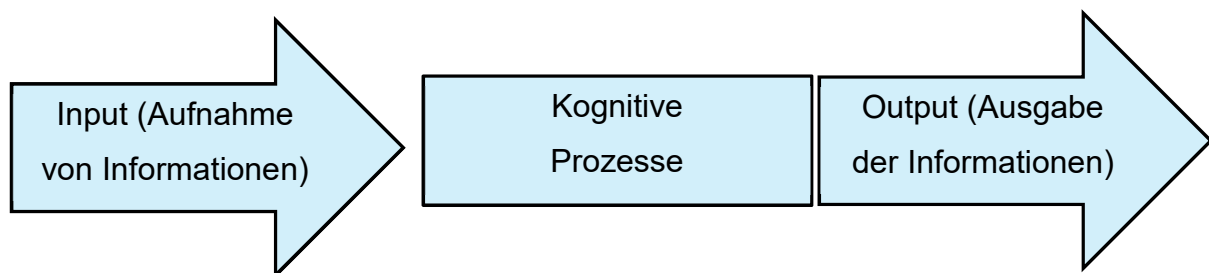


Abbildung 31: Prinzip der kognitivistischen Lerntheorie (vgl. Schütt, 2015, S. 58)

Dabei steht nicht der Prozess der Informationsverarbeitung im Zentrum, sondern „der aktive und konstruktive Charakter der menschlichen Lernprozesse“ (Nückles & Wittwer, 2014, S. 227)

Nach Zens (2015, S. 1) sollten Schülerinnen und Schüler Kompetenzen erwerben, um selbst entscheiden zu können, welche Inhalte aus individuellen Interessensgründen selbstständig weiter vertieft werden. Virtuelle Lernumgebungen sollten demnach einen

hohen Grad an Wahlfreiheit anbieten, um die natürliche Neugier der Lernenden anzuregen. Dies ist nur dann möglich, wenn auch auf konkrete Wünsche eingegangen werden kann. Barth (2007, S. 78) fordert in diesem Kontext, dass computergestützte Anwendungsprogramme die „jeweiligen Lernfortschritte und -defizite“ kontrollieren sollten, um danach ein individuelles, interaktives Lehrangebot erstellen zu können, welches allerdings die Möglichkeit bieten muss, „Lösungsstrategien und -wege selbst zu wählen und gestufte Hilfestellungen in Anspruch zu nehmen.“ (ebd., S. 78) Software, die sich auf die „veränderten Bedingungen“ der Userinnen und User einstellen kann, wird als adaptiv bezeichnet (vgl. Stadtfeld, 2004, S. 39).

Baumgartner (2003, S. 3f.) legt in seinem Artikel „Lerntheorien und Lernwerkzeuge“ besonderen Wert auf die „Verarbeitungs- und Transformationskapazität“, um selbstständiges Forschen und Problemlösen zu ermöglichen. Wird der Content des Lernprogramms in sehr kurzen Zeitabständen angepasst, so spricht man von Mikroadaptation. Liegen der computergestützten Anwendung längere Erneuerungsraten zu Grunde, so spricht man von Makroadaptation (vgl. Freikamp, 2003, S. 64). Nach Lecke (2007, S. 1108) können Neue Medien „besonders bei einem kognitivistischen (auf Verstehen beruhenden) Lernen als Lernmedium und als Lerngegenstand dienen.“ Nach Barth (2007, S. 78) begünstigen computerunterstützte „Lernumgebungen mit variablen Möglichkeiten des Wissenserwerbs [die] Selbststeuerung und Eigenverantwortlichkeit des Lernenden [und] fördern die intrinsische Motivation“.

Pommer (2003, S. 52) hebt einen weiteren wesentlichen Unterschied zwischen Behaviorismus und Kognitivismus hervor, nämlich die Art und Möglichkeit, Rückmeldungen zu leisten.

Während im Behaviorismus Feedback als konditionierte Verbindung von Verhalten und Belohnung aufgefasst wird, nimmt das Feedback im Kognitivismus die Bedeutung einer informativen Rückmeldung zum Verhalten mit Bezug auf das zu erreichende Ziel an. (ebd., S. 52)

Pommer (ebd., S. 52ff.) sieht aber auch die Gefahr von unüberlegtem Feedback beim computerunterstützten Lernen. Dieses Problem kann sogar bei Systemen auftreten, „die gerade aus motivationspsychologischen Gründen Feedback bewusst vorsichtig einsetzen“. (ebd., S. 52) Aus kognitivistischer Sichtweise wird eine konkrete fehlerbezogene Rückmeldung der allgemeinen vorgezogen, denn durch das klare

Erkennen von Fehlern wird der Lernende zum Nachdenken motiviert. Nach Salzmann (2015, S. 25) enthält Feedback stets eine Kombination von informativen und motivationalen Anteilen. Aufbauend auf dem Kognitivismus dient das Feedback dazu, dem Lernenden den momentanen Lernfortschritt sowie weitere Möglichkeiten zum Erreichen des Lernziels aufzuzeigen. Neben dieser informativen Komponente „soll ein Feedback die lernende Person motivieren, zum Beispiel, indem es ihre Selbstwirksamkeitsüberzeugung stärkt und sie darin unterstützt, günstige Ursachenzuschreibungen von Erfolg und Misserfolg vorzunehmen.“ (ebd., S. 25)

Zrnka (2009, S. 12) beschreibt, dass bei tutoriellen strukturellen Systemen (ITS⁸³) vorwiegend kognitivistische Konzepte umgesetzt werden. Neben der multimedialen digitalen Aufbereitung relevanter Themenbereiche wird bei diesen Systemen das Feedback so gestaltet, dass der aktuelle Wissensstand herangezogen wird, um den Lehrstoff personengerecht zu individualisieren.

Für die gegenständliche Arbeit bedeutet das, dass die Forderung nach dem „Konzept des ‘entdeckenden’ Lernens“ (Zrnka, 2009, S. 12) bei der Auswahl virtueller Experimente berücksichtigt werden muss. Die Schülerinnen und Schüler sollen während der Versuchsdurchführung „vor allem durch Neugier und Interesse“ (ebd., S. 12) geleitet werden. Selbstverständlich wird auch stets der Bezug zum Lehrplan bzw. den Bildungsplänen⁸⁴ hergestellt.

3.18.3 Konstruktivismus

Basis für die konstruktivistische Lerntheorie ist der Kognitivismus (vgl. Zens, 2015, S. 1). Der Fokus liegt hier aber auf den individuellen Interpretationen und Konstruktionen, hervorgerufen durch ganz persönliche Wahrnehmungsprozesse (vgl. Mayer, 2005, S. 31). Wissen wird demnach aus der Summe des Vorwissens gepaart mit neuen Informationen erlangt (vgl. Zens, 2015, S. 1).

Zu der tatsächlich existierenden Welt hat der Mensch aus konstruktivistischer Sicht keinen direkten Zugang. Er kann die Umwelt nur mit seinem Bewusstsein konstruieren, einen objektiven Zugang gibt es nicht (vgl. Witt & Czerwionka, 2013, S. 53; Mienert & Pitcher, 2011, S. 47).

⁸³ Auch als „intelligentes Tutoren-System“ bezeichnet

⁸⁴ In der Einleitung des Kapitels 3 näher beschrieben

Konstruktivismus als Lerntheorie geht also davon aus, dass Lernen ein individueller, bewusster und konstruktiver, im Gehirn des Lerners ablaufender Prozess ist. Lerner interpretieren Informationen und ihre Umwelt, indem sie persönliche Erfahrungen, Einschätzungen, Beobachtungen zum Vergleich heranziehen und dann eine „Informationspersonalisierung“ vollziehen. (Zens, 2015, S. 1)

Somit ist auch nach Zens Wissen keine Kongruenz zur Wirklichkeit, vielmehr eine individuelle Konstruktion (vgl. auch Mayer, 2005, S. 31). Nach Mienert & Pitcher (2011, S. 47) existiert die Wirklichkeit in der extremsten Form der konstruktivistischen Sichtweise „per se“ nicht, sondern wird „von den Individuen lediglich konstruiert.“ Auch Mayer (2005, S. 31) untermauert diese Aussage, denn nach seinen Ausführungen gibt es in der strengsten Form der konstruktivistischen Lerntheorie die „äußere, objektive Wirklichkeit“ nicht. In einer gemäßigten Form wird davon ausgegangen, „dass eine externe Welt zwar existiert, diese aber nicht in einer objektiven Weise wahrgenommen werden kann.“ (ebd., S. 31)

Neue individuelle Erkenntnis entsteht nur durch Konstruktion (vgl. Zens, 2015, S. 1), welche durch bisher gemachte Erfahrungen und Wahrnehmungen beeinflusst ist (vgl. Mienert & Pitcher, 2011, S. 47). Ausgehend von dieser Theorie fordert Zens (2015, S. 1), dass bei virtuellen konstruktivistischen Lernumgebungen eine annähernd homogene Gruppe in Bezug auf Vorwissen und Interesse Grundvoraussetzung sein sollte. Außerdem ist es hier nötig, eine offene Problemstellung mit Raum für individuelle Auslegungen und Problemlösestrategien zu entwerfen. Thissen (1997, S. 68) stellt fest, dass Simulationen dem Lernenden „meist sehr konkrete realistische Situationen“ bieten. Die Schülerin oder der Schüler kann versuchsrelevante Parameter verändern und dadurch „immanente Strukturen entdecken und ein kognitives Modell aufbauen und überprüfen.“ Es lässt sich ein enger Zusammenhang zwischen der sofortigen Reaktion der Simulation auf die gesetzten Handlungen des Lernenden und dem hohen Motivationsgehalt der Aufgaben nachweisen. Thissen (1997, S. 69) betont auch, dass Lernen nicht die Reproduktion oder die Übernahme von bereits vorhandenem Wissen ist. Lernprogramme sollen immer mehr neue Perspektiven bieten, was die Hersteller mit immer höheren Anforderungen konfrontiert. Da Lernen nach dem konstruktivistischen Ansatz „aufgrund unterschiedlicher Wirklichkeitskonstruktionen nicht gezielt gesteuert und geplant werden kann, sondern

nur Lernumgebungen zur Verfügung gestellt werden können, verändern sich Rolle und Aufgabe der Lehrer.“ (Zens, 2015, S. 1; vgl. auch Thissen, 1997, S. 69) Kilian et al. (2013, S. 107) beschreiben in ihrem „Handbuch E-Learning“, dass konstruktivistische Lernwege individuell gestaltbar sein müssen und dass sie a priori „nicht vorhersehbar und nicht vermittelbar“ sind. Die Lehrerin oder der Lehrer hat somit eine Lernumgebung zu ermöglichen, bei der die Lernenden selbstgesteuert den Lerngegenstand erforschen und bearbeiten können (vgl. Witt & Czerwionka, 2013, S. 54). Das „Lehren“ und das Übertragen von Wissen steht nach Mienert und Pitcher (2011, S. 48) nicht mehr im Fokus, sondern das Ziel ist es, „Diskurs, Reflexion, Selbstkontrolle und Neugier zu fördern.“ Interessant für den Physikunterricht ist die Tatsache, dass für die Konstruktion des Wissens das Selbsterfahren, das Ausprobieren, das Experimentieren von wesentlicher Bedeutung „für die individuellen Interessens-, Motivations- und Gefühlslagen“ sind. (ebd., S. 48)

Auch Kilian et al. (2013, S. 107f.) postulieren, dass in der konstruktivistischen Lerntheorie das Lehren durch die Lernbegleitung in den Hintergrund gedrängt wird. Digitale Medien könnten durch die Authentizität der Lernumgebung eine besonders gute „Einbettung in einen Anwendungskontext“ ermöglichen. Dann wäre der Lernende auch besser in der Lage, den Lerninhalt „in einen größeren Zusammenhang einzuordnen“.

Kilian et al. (2013, S. 108) bezeichnen folgende drei Aspekte „für virtuelles Lernen als relevant“:

Anchored Instruction: möglichst praxisnahe und authentische Aufgabenstellung und Ausgangssituation

Cognitive Apprenticeship: „die Einbindung der Lernenden in Expertengruppen [wird] zum wesentlichen Bestandteil der Lernsituation“ (Kilian et al., 2013, S. 108)

Cognitive Flexibility: Zur Förderung der kognitiven Flexibilität soll der Lernende die Möglichkeit haben, „multiple Perspektiven“ einzunehmen. Aus diesem Grund sollen Lerninhalte auf verschiedene Weise dargeboten werden.

Brandhofer (2013, S. 62) beschreibt, dass digitale Medien konstruktivistische Lernszenarien „unterstützen, ja geradezu erfordern.“ Web 2.0 „fördert durch vielfältige [...] Zugänge die Freude am Lernprozess.“ (ebd., S. 62)

Zens (2015, S. 1) verbindet den Lernerfolg beim virtuellen konstruktivistischen Lernen mit der Aufrechterhaltung der Eigenmotivation. Ein wesentlicher Faktor dafür ist das

Autonomieempfinden der Lernenden (vgl. auch Kapitel 3.13.9). Das Gefühl von Autonomie kann bei virtuellen Inhalten zum Beispiel durch mehrkanaliges Informationsangebot entstehen. Gleichzeitig muss darauf geachtet werden, dass Desorientierung und Überforderung beim Lernenden vermieden werden, sonst wird das Gefühl der Selbstbestimmtheit erst recht wieder untergraben (vgl. Witt & Czerwionka, 2013, S. 54).

4 Empirisch-explorativer Forschungsteil

Im theoretischen Teil dieser Arbeit wurde die Bedeutung von Motivation für den modernen Physikunterricht erläutert. Im Speziellen wurde dabei auf die Motivation von Lernenden der Sekundarstufe I Bezug genommen. Da zum Zeitpunkt dieser Studie noch keine empirischen Erkenntnisse zur Motivationslage in der Sekundarstufe I bei der Durchführung von virtuellen Versuchen vorliegen, soll diese Arbeit einen Beitrag zur Klärung dieser Situation leisten. Dabei steht die Forschungsfrage „Welche Auswirkungen hat der Einsatz von virtuell durchgeführten physikalischen Experimenten im Sekundarstufenbereich I auf die Motivation der Lernenden?“ im Mittelpunkt. Die Schülerinnen und Schüler hatten bis zum Start dieser Untersuchung noch keinen Kontakt zu virtuellen Experimenten.

Erweiternd zu den theoretischen Ausführungen im ersten Teil dieser Arbeit, liefert der nun folgende Abschnitt die Auswertung und Interpretation der quantitativ erhobenen Daten, um unter Zuhilfenahme der aufgestellten Hypothesen die Forschungsfrage zu beantworten.

4.1 Organisatorische Rahmenbedingungen

Die vorliegende Untersuchung wurde in Österreich im Bundesland Niederösterreich im Schuljahr 2016/2017 durchgeführt. Dazu wurde regelkonform die Zustimmung vom Landesschulrat für Niederösterreich eingeholt, die unter der Bedingung der Einhaltung absoluter Anonymität erteilt wurde.⁸⁵ Auf Grund dieser Anforderung wurde auf eine Codierung (Pseudonymisierung) verzichtet, da diese vielleicht Rückschlüsse auf einzelne Schülerinnen oder Schüler ermöglicht hätte. Um möglichst aussagekräftige Ergebnisse zu erlangen, wurde die Studie sowohl an privaten Neuen Mittelschulen mit Öffentlichkeitsrecht als auch an öffentlichen Neuen Mittelschulen durchgeführt. Alle teilnehmenden Lehrerinnen und Lehrer wurden sowohl persönlich, als auch schriftlich über die Durchführungsmodalitäten in Kenntnis gesetzt. Teilgenommen haben die

⁸⁵ vgl. Genehmigung vom 26.01.2017, Zahl: Präs.-420/2086-2017

Neue Mittelschule Mary Ward Krems und die Neue Mittelschule 1 Gmünd – beide aus der Bildungsregion 1⁸⁶, sowie die Neue Mittelschule Mary Ward St. Pölten, die Neue Mittelschule Körner 1 St. Pölten und die Neue Mittelschule Harland – alle drei aus der Bildungsregion 4.⁸⁷ Besondere Aufwertung erfuhr die Studie auch durch die Unterstützung des niederösterreichischen Netzwerks NaWi⁸⁸, welches die Qualitätssicherung und Professionalisierung im naturwissenschaftlichen Unterricht für die Sekundarstufe I sicherstellt. Durch diese wohlwollende Unterstützung konnte die Probandinnen- und Probandenzahl deutlich gesteigert werden.

Der Lehrplan für das Unterrichtsfach Physik ist in Österreich sowohl für die Neuen Mittelschulen (NMS) als auch für die allgemeinbildenden höheren Schulen wortident. Auch „[d]ie allgemeinen Teile des Lehrplans (‘Allgemeines Bildungsziel’, ‘Allgemeine Didaktische Grundsätze’, ‘Schul- und Unterrichtsplanung’) stimmen in vielen [...] Bereichen überein.“ (Bundesministerium für Bildung, 2016, o. S., online)

Insgesamt nahmen 407 Schülerinnen und Schüler der zweiten, dritten und vierten Klassen der Sekundarstufe I – entspricht der sechsten, siebenten oder achten Schulstufe – aus fünf verschiedenen Schulen an dieser Studie teil.

Es konnten 1.211 Datensätze mit insgesamt 46.018 Einzeldaten erhoben werden. Der Fragebogen wurde ausschließlich online zur Verfügung gestellt, da dies den Vorteil bietet, dass die Untersuchung in Gruppen durchführbar ist und der Materialaufwand geringgehalten werden kann. Die hohe Auswertungsobjektivität (maschinelle Auswertung – keine Fehlerquelle beim Einscannen oder Abtippen) und die hohe Durchführungsobjektivität (Anweisungen konnten auch schriftlich gegeben werden) sprachen für diese Erhebungsmethode (vgl. Rammstedt, S. 3, 2004).

Um die zeitliche Belastung der Befragung für die Schülerinnen und Schüler möglichst gering zu halten (Brell, 2007, S. 32), wurde für diese Studie eine eigene Homepage⁸⁹ entwickelt. Auf dieser sind die Online-Befragung, die virtuellen Experimente geordnet nach Schulstufen sowie ein Gästebuch und ein Kontaktformular zu finden.

⁸⁶ Bildungsregion 1 (Schulbezirke: Gmünd, Horn, Krems-Stadt, Krems-Land, Waidhofen/Thaya, Zwettl)

⁸⁷ Bildungsregion 4 (Schulbezirke: Lilienfeld, St. Pölten-Stadt, St. Pölten-Land, Tulln, Wien-Umgebung)

⁸⁸ NaWi ist ein integraler Bestandteil des niederösterreichischen Schulentwicklungszentrums des Landesschulrats für Niederösterreich.

⁸⁹ URL: www.mr-berger.at

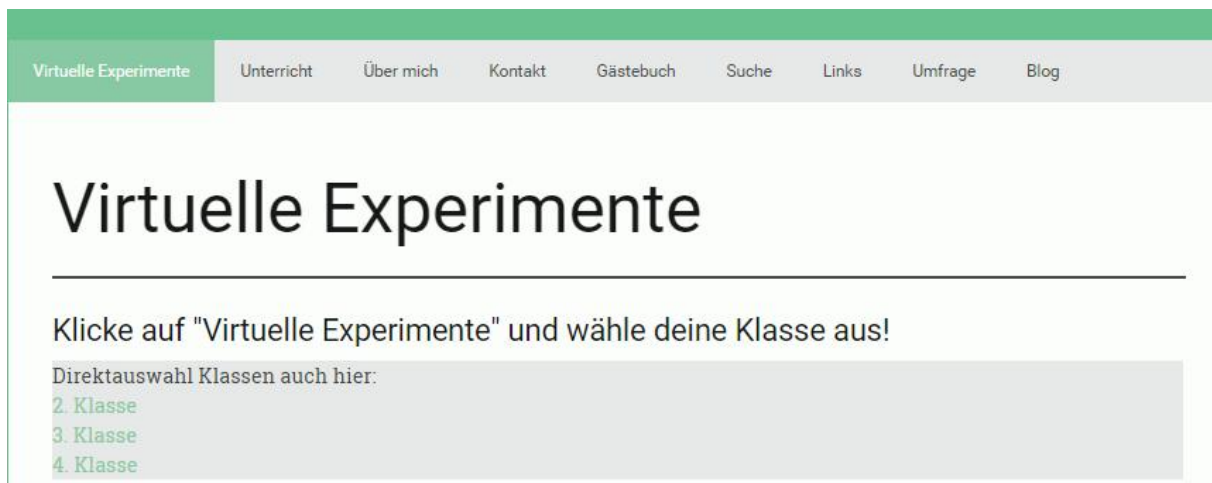


Abbildung 32: Auswahl geordnet nach Schulstufen – Homepage: <https://www.mr-berger.at>

Die Items des Online-Fragebogens wurden aus etablierten Tests generiert (siehe Kapitel 4.4). Dabei wurde bewusst die Dimensionsstruktur vorangegangener Arbeiten beibehalten (vgl. Müller et al., 2007, S. 3; Rheinberg et al., 2001, S. 57 ff.; Rheinberg, 2004, S. 43; Rakoczy, 2006, S. 834). Die Antwortmöglichkeiten waren entweder durch Dropdown- oder durch Multiple Choice-Felder vorgegeben. Die Form der fünfteiligen Likert-Skala wurde bewusst gewählt, da das österreichische Notensystem ebenfalls fünfstufig gegliedert ist und diese Fünfstufigkeit somit den Probandinnen und Probanden gut vertraut ist. Zusätzlich gab es noch die Möglichkeit, jede Fragestellung mit „will / kann ich nicht beantworten“ zu quittieren.

Neue Medien im experimentellen Physikunterricht der Sekundarstufe I

Hier geht es zur Umfrage, besten Dank für Deine Mithilfe!

* Erforderlich

Klasse

Auswählen

2. Klasse

3. Klasse

4. Klasse

Abbildung 33: Auswahl über "Dropdown-Menü"

	sehr zutreffend (++)	zutreffend (+)	weder noch (0)	kaum zutreffend (-)	nicht zutreffend (-)	will / kann ich nicht beantworten
1) Die heute durchgeführten Versuche haben mir Spaß gemacht.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2) Ich habe heute gerne mitgearbeitet, weil ich gerne physikalische Aufgaben löse.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3) Ich habe heute gerne mitgearbeitet, weil ich gerne über physikalische Versuche nachdenke.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Abbildung 34: Multiple Choice-Felder

4.2 Aufbau der Studie

Ausgangspunkt für die empirische Untersuchung sind die in Kapitel 4.4 genauer dargestellten Unterschiedshypothesen. Diese sind jeweils als sogenannte Hypothesenpaare (Alternativhypothese versus Nullhypothese) formuliert. Dabei wird als unabhängige Variable die Unterrichtsmethode der virtuell durchgeführten physikalischen Experimente gewählt, die abhängige Variable sind die motivationalen Auswirkungen auf den Unterricht (vgl. Reitinger, Nausner & Weinberger, 2013, S. 45; S. 91).

Zur Durchführung der Untersuchung werden die Schülerinnen und Schüler in eine Interventions- und in eine Kontrollgruppe unterteilt. Diese Gruppen sind nicht randomisiert.

Reitinger et al. (2013, S. 86) empfehlen für den Fall, dass die Gruppen nicht randomisiert⁹⁰ sind und anzunehmenden „Effekten“ (ebd., S. 91)⁹¹ unterliegen, vom üblichen Untersuchungsplan in der sozialwissenschaftlichen Forschung abzuweichen.

Exkurs: Da die Gruppen in der vorliegenden Forschungsarbeit nicht randomisiert sind, spricht man von einem Quasi-Experiment⁹². Derartige Experimente finden oft unter natürlichen Bedingungen statt und weisen eine hohe externe Validität auf. Im Gegensatz dazu stehen Experimente, welche auf Grund von Laborbedingungen eine höhere interne Validität aufweisen, da sie den Vorteil haben, zum Beispiel den Einfluss zwischenzeitlicher Geschehnisse besser einordnen und interpretieren zu können (vgl. Reitinger et al., 2013, S. 75).

Eine Verbesserung der internen Validität lässt sich in quasiexperimentellen Untersuchungen dadurch erzielen, dass neben der Experimentalgruppe eine Kontrollgruppe geprüft wird. Da hier jedoch auf eine Randomisierung verzichtet werden muss, sind [...] Vortests unerlässlich. (Bortz und Döring, 2015, S. 582)

4.2.1 Das Cross Over-Design

Statt des oft üblichen Designs einer nicht-äquivalenten Kontrollgruppe⁹³ wird in dieser Studie die switching replications-Methode⁹⁴ angewendet. In diesem Fall wechseln die Experimental- und Kontrollgruppe während der Untersuchung. So bildet in der ersten Phase der Untersuchung die Klasse 1 die Experimentalgruppe und in der zweiten Phase dieselbe Klasse die Kontrollgruppe. Die Klasse 2 bildet zuerst die Kontrollgruppe und danach die Experimentalgruppe. Diese auch Cross Over-Design

⁹⁰ Schulklassen können nur als nicht randomisierte Gruppen angenommen werden (vgl. Reitinger et al., 2013, S. 86).

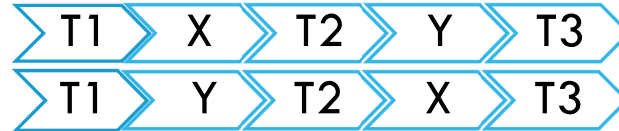
⁹¹ Auftritt von zum Beispiel Reifungseffekten (Reitinger et al., 2013, S. 91) zwischen den Testungen oder – wie im konkreten Fall – Verlust von Interesse während der Schullaufbahn an naturwissenschaftlichen Fächern (vgl. Weltner 2013, S. 419ff.; Zinn, 2008, S. 1; Daniels, 2008, S. 235; Ferdinand, 2014, S. 53)

⁹² Das Quasi-Experiment unterscheidet sich vom Experiment darin, dass die Teilnehmer beim Quasi-Experiment nicht zufällig auf Interventions- und Kontrollgruppe aufgeteilt werden, d.h. man untersucht natürlich existierende, nicht-randomisierte Gruppen (bspw. zwei verschiedene Schulklassen). (Friedrich, Hoein & Wirth, 2009, o. S., online)

⁹³ Bei diesem Forschungsansatz gibt es eine Experimental- und eine Kontrollgruppe, denen verschiedene Personen angehören. Nach der Vorhermessung und einmaliger Intervention erfolgt die Nachhermessung.

⁹⁴ vertauschte Replikation

genannte Methode wurde einerseits gewählt, um jeder Teilnehmerin und jedem Teilnehmer die Möglichkeit zur Durchführung virtueller Experimente zu geben und andererseits, um einen gesicherten, kontinuierlichen Motivationsverlauf verfolgen und dokumentieren zu können.



T1 = Vorhermessung

X= Intervention = virtueller Schülerinnen- und Schülerversuch

Y= „realer“ Schülerinnen- und Schülerversuch

T2 = Zwischenmessung (abhängige Variable: Motivation)

T3 = Nachhermessung (abhängige Variable: Motivation)

(vgl. Reitinger et al., 2013, S. 91)

Dabei wird mit der Interventionsgruppe zuerst ein virtueller Versuch und mit der Kontrollgruppe zuerst ein klassisches Experiment durchgeführt. In einem zweiten Durchgang werden die Gruppen vertauscht (vgl. Bortz & Döring, 2015, S. 582). Die Versuche sind auf die jeweilige Altersgruppe abgestimmt und werden in den Regelunterricht implementiert. Auf die Kriterien, nach denen die Versuche ausgewählt wurden, wird in Kapitel 4.2.3 nochmals hingewiesen.

Die Schülerinnen und Schüler werden im Laufe der Untersuchung dreimal einer Online-Fragebogenuntersuchung unterzogen. Die erste Vorerhebung gibt den Motivationsstand vor der Durchführung einer Intervention wieder (vgl. Bortz & Döring, 2015, S. 582). Die Zwischenerhebung lässt einen ersten Vergleich von Experimental- und Kontrollgruppe zu, die Schlusserhebung ermöglicht dann durch Vertauschen der Gruppen eine finale Auswertung (vgl. Reitinger et al., 2013, S. 91).

Das für ein Cross Over-Design typische Parallelgruppen-Modell wurde leicht abgeändert (vgl. Schumacher & Schulgen, 2013, S. 305), da die Probandinnen und Probanden aus Anonymitätsgründen keinen personalisierten Code verwenden konnten. Konkret bedeutet dies, dass der einzelne Fragebogen keiner bestimmten Person mehr zugewiesen werden kann und damit der interpersonelle Motivationsunterschied zwischen den Testzeitpunkten nicht mehr gemessen wird. Wie Budischewski und Kriens (2015, S. 89) definieren, sind die Stichproben als

unabhängig anzusehen, wenn, „von der einen Stichprobe keine Rückschlüsse auf die andere Stichprobe gezogen werden können.“ Nach Bortz und Lienert (2008, S. 24) würde eine abhängige Stichprobe nur dann vorliegen, „wenn die Zusammensetzung einer Stichprobe durch die Zusammensetzung einer anderen Stichprobe determiniert ist. Kuckartz, Rädiker, Ebert und Schehl (2013, S. 160) postulieren, dass sich bei abhängigen Stichproben „die Messwerte der beiden Stichproben paarweise verbinden lassen“.

Bortz, Lienert und Boehnke (2008, S. 27) präzisieren diese Aussage für die Sozialwissenschaften, indem sie postulieren, dass Messwiederholungsanalysen „aber nur dann konklusiv [sind], wenn sie keinem zeitlichen Trend folgen und die Abfolge der Bedingungen losbestimmt ist.“ Wie bereits in Kapitel 3.14.4 sehr umfangreich ausgeführt, kommt es unter anderem während der Sekundarstufe I zu einem drastischen Rückgang des Interesses am Gegenstand Physik (vgl. Lackenbacher, 2001, S. 12; Brigido, Bermejo, Conde & Mellado, 2010, S. 25). Dieser Interessensrückgang innerhalb der Sekundarstufe I ist auch bei der vorliegenden Studie deutlich nachweisbar. Würde man von verbundenen Stichproben ausgehen und einen Motivationsrückgang feststellen, wäre nicht klar, ob dieser durch die Intervention oder durch den ohnehin stetig fortschreitenden Interessensabfall begründet wäre. Diese Erkenntnis ist von äußerst großer Relevanz, denn sogenannte „Carryover-(Überhang-)Effekte“ lassen sich bei der vorliegenden Studie aufgrund der vielfältigen Faktoren und der vorgegebenen Schulklassenstruktur nicht vollständig eliminieren, und könnten das Ergebnis verfälschen, wenn sie unbemerkt oder unbeachtet blieben.

Exkurs: Cross Over-Studien werden häufig in der Medizin eingesetzt, da weniger Probandinnen und Probanden (Patientinnen und Patienten) für die Untersuchung benötigt werden (vgl. Weiß, 2013, S. 286). Nach Sachs (2013, S. 687) hat das Cross Over-Design den Nachteil, dass „trotz einer dazwischengeschobenen Zeit ohne Behandlung“ die Intervention A nachwirkt und somit die neue Intervention B verfälschen kann oder es passieren kann, dass durch vorangegangene Bedingungen überhaupt keine Wirkung eintritt. Auch Wellek und Blettner (2012, S. 276) postulieren, dass bei dieser Art der Studie darauf geachtet werden muss, dass „keine sogenannten Carryover-(Überhang-)Effekte“ in die Studie einfließen dürfen, da ansonsten die „Ergebnisse verfälscht und von geringer wissenschaftlicher Aussagekraft“ wären. Des

Weiteren erklären die Mediziner Wellek und Blettner im deutschen Ärzteblatt, dass die Probandin und der Proband sowohl der Interventions- als auch der eigenen Kontrollgruppe angehören und sich Faktoren wie zum Beispiel das Lebensalter auf die Auswertung auswirken können. Leider wird bei „der Auswertung von Crossover-Studien [...] häufig so verfahren, als handle es sich um einen einfachen Prä/Post-Vergleich. Dieses Vorgehen ist leider auch in angesehenen [Studien] immer wieder zu beobachten.“ (ebd., S. 276)

Crossover-Studien, in denen die Auswertung mit dem verbundenen t-Test (oder einem anderen Verfahren für paarige Stichproben) vorgenommen worden ist, sind methodisch fehlerhaft und leisten keinen Beitrag zur evidenzbasierten Beurteilung der geprüften Behandlungen. (Wellek & Blettner, 2012, S. 277)

Neuere Studien aus dem angloamerikanischen Raum, die im Cross Over-Design angelegt sind, zeigen, dass man nicht a priori von verbundenen Stichproben ausgehen darf. Die medizinische Studie "Effect of Multiple Micronutrient Supplementation on CD4 T Cell levels of Clinically Stable HIV Patients on Highly Active Antiretroviral Therapy; A Randomized Controlled Crossover Trial", bei der insgesamt zwölf Autoren mitwirkten, wurde ebenfalls im Cross Over-Design gestaltet (vgl. Anthony et al., 2016). Da auch diese Autoren den unerwünscht auftretenden Carry Over-Effekten vorbeugen wollten, wurde der t-Test für unabhängige Stichproben verwendet.

The data collected from the AB/BA groups were analysed with SPSS version 20 and compared using Independent sample t test with a two sided hypothesis and a p-value set at 0.05. (Anthony et al., 2016, S. 5)

Diese Vorgangsweise findet sich bei Cross Over-Studien immer wieder. Lyrakou et al.⁹⁵ (2007) beschreiben, dass in ihrer Cross Over-Untersuchung immer mit unabhängigen t-Tests gearbeitet wurde.

Mean differences between the two different [...] groups were examined with the independent samples t-test. (Lyrakou et al., 2007, S. 101)

⁹⁵ Studie wurde von neun Autorinnen und Autoren durchgeführt.

Da auch in dieser Studie ein einfacher Prä/Post-Vergleich viel zu kurz greifen würde (vgl. Wellek & Blettner, 2012, S. 277), wird im Folgenden auf die sorgsame Überlegung, die Stichprobe als unabhängig zu betrachten, nochmals näher eingegangen:

Die vorliegende Forschungsfrage überprüft den Motivationsunterschied zwischen virtuellen und realen Experimenten im Physikunterricht der Sekundarstufe I. In dieser Studie steht somit nicht die intraindividuelle Motivationsveränderung im Vordergrund, sondern die motivationsrelevanten Unterschiede zwischen Ersterhebung, Realversuch und virtuellem Experiment. Nach Weinmann (2006, S. 58) muss „[b]eim reinen Vergleich der End-Scores zweier Behandlungsgruppen [...] keine Abhängigkeit berücksichtigt werden.“ Diehm und Müller (2013, S. 35) sprechen in diesem Fall von einer „Zwei-Perioden-Cross-over-Studienauswertung“ und empfehlen als statistische Testverfahren jene für unverbundene Stichproben, wie den t-Test für normalverteilte und den U-Test bei nicht parametrischen Grundgesamtheiten. Zu den bereits in diesem Kapitel angeführten Argumenten für eine unabhängige Stichprobe (Motivationsrückgang mit jeder höheren Schulstufe; hoher Anonymisierungsgrad – erhobene Messwerte können nicht mehr paarweise verbunden werden) kommt noch hinzu, dass aus Krankheitsgründen manche Schülerinnen und Schüler entweder nur bei der Testung für den Realversuch oder beim virtuellen Experiment anwesend waren.

Da es gerade im Schulbereich sehr schwierig ist, an repräsentative Probandinnen- und Probandenstichprobengrößen zu kommen, wurde bewusst die Cross Over-Variante gewählt, da diese mit geringeren Fallzahlen auskommt (vgl. Wellek & Blettner, 2012, S. 276).

Schumacher und Schulgen (2013, S. 310f.) zeigen durch folgende Formel eine Möglichkeit die Effektgröße in einem Cross Over-Konstrukt zu berechnen. Basis dafür ist der abhängige Zweistichproben-t-Test (Mittelwertunterschied) erweitert um die Cross Over-Differenz.

$$T = \sqrt{\frac{n_1 \times n_2}{n_1 + n_2}} \times \frac{|d_1 + d_2|}{S_d} \quad \text{mit} \quad S_d = \sqrt{\frac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2}{(n_1+n_2-2)}}$$

T = t-Test auf Effektivität

n_1, n_2 = Probandinnen und Probanden (Gruppe 1, 2)

d_1, d_2 = Cross Over-Differenz

S_d = Standardabweichung

S_1^2, S_2^2 = Empirische Varianz der Differenz der Beobachtungen beider Perioden

$(n_1 + n_2 - 2)$ = Anzahl der Freiheitsgrade

Wie aus der oben angeführten Formel hervorgeht, spielt die Standardabweichung (S_d) aus beiden Perioden eine entscheidende Rolle. Diese ist aber aufgrund des Verzichts auf das Parallelgruppendesign (Anonymisierung) nicht mehr berechenbar⁹⁶. Auch aus diesem Grund muss mit unabhängigen Stichproben gearbeitet werden.

4.2.2 Der Fragebogen

Nach Kromrey (1998, S. 335f.) ist in der empirischen Sozialforschung die persönliche Befragung das am meisten eingesetzte Instrument zur Datenerhebung. Fragebögen haben einen ausschließlich instrumentellen Charakter und dienen nur dem Zweck, Antworten auf die gestellte Forschungsfrage zu erhalten. Die schriftliche Befragung wurde dennoch ganz bewusst für diese Studie gewählt, da bei dieser Befragungsform ehrlichere Antworten zu erwarten sind, „zumal die Zusicherung von Anonymität bei schriftlichen Befragungen glaubwürdiger ist als bei Face-to-Face-Interviews.“ (Bortz & Döring, 2015, S. 256)

Um eine hohe Güte und Adäquatheit der einzelnen Items zu gewährleisten, setzte der Autor der vorliegenden Arbeit mehrere Maßnahmen:

Nach der Ersterstellung wurde der Fragebogen einer Erziehungswissenschaftlerin vorgelegt, die die Fragen auf ihren schülerinnen- und schülergerechten Charakter hin überprüfte.

Alle Items dieser Untersuchung – bis auf geringfügige Abänderungen – fanden bereits mehrfach und erfolgreich in ähnlich gelagerten Forschungsarbeiten Anwendung und sind somit wissenschaftlich erprobt. Sie wurden sehr sorgsam adaptiert. Danach wurde gemäß der Empfehlung von Bortz und Döring (2015, S. 256) vorgegangen, die

⁹⁶ „Eine einfache Mittelung bietet sich nicht an, da Standardabweichungen sich nicht additiv verhalten (Die Wurzel aus einer Summe ist nicht gleich der Summe der Wurzeln).“ (Trampisch & Windeler, 2013, S. 196)

vehement darauf hinweisen, dass eine hohe interne Validität erst durch mehrere Pretestmessungen erreicht werden kann (vgl. auch Bortz & Döring, 2015, S. 554ff.).

Daher wurden die Items mehrfach Schülerinnen und Schülern vorgelegt, die deren Verständlichkeit beurteilten. Diese Überprüfung war selbstverständlich auf freiwilliger Basis und mit den Eltern abgestimmt.

Hauptsächlich zeigten diese Pretests, dass einige Fragen trotz positiver Erfahrungswerte leicht umformuliert oder sogar gestrichen werden mussten, da sie von manchen Schülerinnen und Schülern missverstanden worden wären.

Sämtliche prozessrelevante Abänderungen der Items und des Aufbaus des gesamten Fragebogens werden hier nicht näher ausgeführt, da dies den Rahmen der Arbeit sprengen würde. Es wurde auf jeden Fall der Forderung von Bortz und Döring (2015, S. 256) entsprochen, dass ein „Fragebogen absolut transparent und verständlich gestaltet“ sein muss.

Korner, Urban-Woldron und Hopf (2012, S. 100) konnten in Ihren Untersuchungen zeigen, dass gerade Schülerinnen und Schüler in der Sekundärstufe I große Probleme mit negativ formulierten Fragestellungen haben. Dies wurde sogar durch statistische Auswertungen bestätigt. Aus diesem Grund wurde bei der Erstellung des hier verwendeten Fragebogens auf derartige Fragestellungen verzichtet und eine fünfstufige Likert-Skala gewählt, welche der Notenstruktur im österreichischen Schulsystem ähnelt.

Der Umfang des Fragebogens wurde nach den Pretests ebenfalls adaptiert (gekürzt), da einige Probandinnen und Probanden auf Grund der Länge über Konzentrationsschwierigkeiten klagten. Dieses Erkenntnis deckt sich auch mit den Forderungen von Reitinger et al. (2013, S. 173), die der Meinung sind, dass „für Grundschulkinder [...] ein Fragebogen mit 20 Items schon eine gewisse Herausforderung darstell[t].“ Nach Meinung der genannten Autoren sollte ein „Fragebogen so kurz wie möglich und so lange wie nötig“ sein. (ebd., S. 173)

Als Methode für die Datenerhebung bei diesem Online-Fragebogen wurde die Likert-Skala, benannt nach dem amerikanischen Psychologen Rensis Likert, verwendet (vgl. Schwandt, 2012, o. S., online).

Eine Likert-Skala dient dazu, die Einstellung einer befragten Person zu einem bestimmten Themengebiet zu erfassen.

Für einen Likert-Test werden mehrere wertende Aussagen formuliert, denen die Person mittels einer Skala zustimmt oder die sie ablehnt. Likert-Skalen bestehen üblicherweise aus 5, 7 oder 11 Merkmalsausprägungen. [...] Die einzelnen Fragen, aus denen der Aussagenblock zu einem Thema zusammengesetzt wurde, werden als Items bezeichnet. (Schwandt, 2012, o. S., online)

Auf einer mehrstufigen Intervallskala kann die Schülerin und der Schüler Zustimmung oder Ablehnung zu einer vorgeschlagenen Motivationslage ausdrücken (vgl. Schwandt, 2012, o. S., online).

Besonders sei darauf hingewiesen, dass die Kategorien der Ratingskala äquidistant (den gleichen Abstand aufweisend) sind und dass nach Wahl einer Kategorie die Antworten den Skalenwerten eins bis fünf zugeordnet werden können (vgl. Bortz & Döring, 2006, S. 224).

In Hinblick auf die Zielgruppe von österreichischen Schülerinnen und Schülern wurde für den Fragebogen eine fünfstufige Skalierung verwendet. (Das österreichische Notensystem besteht ebenfalls aus fünf Schulnoten.)

Die aufgestellten Behauptungen können mit

- eindeutig zutreffend (1),
- zutreffend (2),
- weder zutreffend noch nicht zutreffend (3),
- nicht zutreffend (4) oder
- eindeutig nicht zutreffend (5)

bewertet werden (vgl. Bortz & Döring, 2015, S. 224).

Um die äquidistante Ratingskala den Schülerinnen und Schülern zu verdeutlichen, wurden zusätzlich zu den verbalen Bewertungen die Ergänzungen ++, +, 0, -, -- verwendet (vgl. Enneking, 2000, S. 7):

- eindeutig zutreffend (++)
- zutreffend (+)
- weder zutreffend, noch nicht zutreffend (0)
- nicht zutreffend (-)
- eindeutig nicht zutreffend (--)

Wie bereits erklärt, wurden die drei erforderlichen Erhebungen als Online-Befragungen durchgeführt. Die softwaremäßige Erstellung wurde dabei vom Autor dieser Forschungsarbeit selbst vorgenommen. Als Basistool wurde das kostenfreie Umfragetool Google Forms verwendet.

Nach Reitinger et al. (2013, S. 173) haben Online-Fragebögen eine Reihe von Vorteilen: Erstens sind sie sehr ökonomisch, da ihre Erstellung einen relativ geringen Personal- und Zeitaufwand erfordert und zweitens ist auch bei der Auswertung der Personalaufwand geringer als bei Auswertungen in reiner Papierform. Zusätzlich bieten sie den Vorteil, dass der Datenimport in ein Statistikprogramm reibungslos funktioniert (vgl. ebd., S. 183). Außerdem erfährt diese Befragungsart von den Teilnehmerinnen und Teilnehmern einen hohen Akzeptanzgrad (vgl. Reitinger et al., 2013, S. 183).

4.2.3 Auswahl der virtuellen Versuche unter besonderer Berücksichtigung der Motivation nach Deci und Ryan

Wie bereits in Kapitel 3.13.9 ausführlich dargelegt, ist es nach Deci und Ryan für die intrinsische Motivation entscheidend, selbstbestimmt zu handeln. Auch nach Günther (2013, S. 43) ist aus „pädagogischer Perspektive [die] Selbstbestimmung eine erstrebenswerte Schlüsselkompetenz“ und führt nach Seidel et al. (2006, S. 811) häufiger zu organisierten Lernaktivitäten und zu einem höheren Wissenszuwachs. Oftmals sind aber – wie ebenfalls bereits beschrieben – externe Einflüsse hilfreich, einen Motivationsprozess zu initiieren, da über den Weg der Internalisation und Integration externale Werte in das eigene Selbst eingegliedert werden können (vgl. Seidel & Krapp, 2014, S. 204). Um diesen Prozess aufrecht zu erhalten, muss die Schülerin / der Schüler das Gefühl von Autonomie erleben (vgl. Deci & Ryan, 1994, S. 6f.; Deci & Ryan, 1993, S. 228ff.; Noels, Clément & Pelletier, 1999, S. 23ff.). Shushulova (2009, S. 58) untermauert in Ihrer Studie „Motivation und Wirkung von E-Learning“ die Rolle der Selbstbestimmung mit folgenden Worten:

Selbstbestimmt Motivierte dagegen empfinden das Lernen als angenehm, sogar faszinierend. Zum anderen beeinflusst die Motivation auch die kognitiven Prozesse beim Lernen.

Stieler-Lorenz und Krause (2003, S. 42) greifen inhaltlich auf die Postulate von Deci und Ryan zurück: Sie fordern für selbstbestimmtes Lernen neben der zeitlichen auch eine inhaltliche Mitbestimmung durch die lernende Person. Nicht nur „any time“ und „any where“ sind Erfolgsfaktoren für selbstbestimmtes Lernen. „Any content“ erweist sich als wesentlicher Motivations- und Erfolgsfaktor für lebenslanges arbeitsprozessbezogenes wie auch privates Lernen (vgl. ebd., S. 42ff.).

Um die Motivation und den Lernerfolg hoch zu halten, muss der Inhalt (content) ziel- und zweckorientiert sein und auf die Lernenden entsprechend ihren individuellen Voraussetzungen abgestimmt werden. Die Lernenden sollten sich zwar selbst organisieren können, allerdings ist in gewissen Phasen eine Lernbegleiterin oder ein Lernbegleiter unverzichtbar. Das Ziel ist aber immer ein individuelles, auf die Person abgestimmtes (selbstbestimmtes) Lernen. Unter „any content“ verstehen die Autoren „das selbstbestimmte Suchen und Finden von Lerninhalten entsprechend der Dynamik der Veränderungen in ihrer [...] Lebenswelt“. (ebd., S. 43)

Stieler-Lorenz et al. (2003, S. 43) fordern zu diesem Zweck einen Internetzugang für alle Schülerinnen und Schüler, um auch frühzeitig Strukturierungs-, Selektions- und Systematisierungskompetenzen zu erlangen, damit eine „neue Qualität“ des selbstbestimmten Lernens und Handelns ermöglicht wird.

Die angeführten Faktoren stellen für die vorliegende Arbeit wichtige Eckpfeiler dar. So wurde vom Autor bei der Auswahl der virtuellen Experimente neben der Berücksichtigung anderer (z. B. lehrplanrelevanter) Kriterien darauf geachtet, dass der Versuch auch individuelle, selbstbestimmte Gestaltungsmöglichkeiten zulässt. Vorrangig soll – wie von Stieler-Lorenz et al. (2003, S. 43) gefordert – vom reinen instruktivistischen Lernen zum konstruktivistischen Verstehen angeregt werden.

4.3 Untersuchungsablauf

Von den Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I wurden drei Motivationstests in Form eines adaptierten „Cross Over-Designs“ absolviert. Die erste Testung erfolgte direkt nach der Abhaltung einer üblichen Physikstunde, da bei Cross Over-Studien „bereits vor der ersten Periode Vortests durchgeführt werden, da sie eine bessere (trennschärfere) Prüfung der Gruppenunterschiede in der ersten Periode ermöglichen.“ (Riederer & Laux, 2013, S. 493)

Diese Voruntersuchung diente zur Erfassung des aktuellen Motivationsstatus im Gegenstand Physik. Aus diesem Grund war das Forschungsdesign so angelegt, dass in dieser ersten Phase keine Kontroll- und Experimentalgruppe gebildet wurden.

Auf vielfachen Wunsch der Eltern der befragten Jugendlichen wurde vom Autor auf absolute Anonymität großer Wert gelegt. Darüber hinaus wurde vom Landesschulrat für Niederösterreich⁹⁷ sogar die Verknüpfung der einzelnen Befragungsergebnisse mit personengebundenen Codes (zusammengesetzt aus Alter, Geschlecht, Klasse, Geburtstag, sowie zweitem und drittem Buchstaben der Vornamen von Mutter und Vater), welche nach Meinung des Autors die Anonymität der Befragten garantiert hätten, untersagt.

Außerdem wurden die Lernenden von den Lehrkräften kurz vor dem Test nochmals auf die Wahrung ihrer Anonymität hingewiesen und dazu angeleitet, die Items wahrheitsgetreu zu beantworten. Die Lernenden hatten Gewissheit, dass die Testung keinen Einfluss auf ihre Schulnoten hat.

Durch die Maßnahme, dass die Schülerinnen und Schüler keine personengebundenen Codes verwendeten, kam – wie in Kapitel 4.2.1 ausführlich dargestellt – das für das Cross Over-Design typische Parallelgruppen-Modell in abgewandelter Form zu tragen (vgl. Schumacher & Schulgen, 2013, S. 305).

Nach zirka einem Monat wurde die zweite Testung abgehalten. Je nach Gruppeneinteilung wurde die Intervention „realer“ oder „virtueller Schülerversuch“ umgesetzt. Unmittelbar nach der systematischen Variation der Versuchsbedingung wurde wiederum die Online-Befragung zur Erhebung der motivationsrelevanten Daten durchgeführt.

Bald darauf wurden die Schülerinnen und Schüler dem jeweils entgegengesetzten Treatment unterzogen. In gleicher Weise erfolgte danach die letztmalige Befragung. Deren Zeitpunkt konnte von der Lehrkraft individuell – innerhalb einer vorgegebenen Frist – bestimmt werden. Der Grund dafür war, dass die Schülerinnen und Schüler dieselbe Art des Experimentes, jedoch einmal mit realen Materialien und einmal mit virtueller Ausstattung am PC durchführen sollten. Je nach den didaktischen Überlegungen der Lehrerinnen und Lehrer variierte der zeitliche Abstand von erster zu zweiter Testung zwischen zwei Wochen und mehreren Monaten.

⁹⁷ Schreiben vom 24.01.2017, Präs.-420/2086-2017

Die realen Schülerinnen- und Schülerexperimente fanden in den eigens dafür vorgesehenen Physiksälen statt. Die Ausrüstung variierte zwischen den Schulen, da auf bereits vorhandene Materialien zurückgegriffen wurde. In vielen Fällen konnten die Experimente nur in Schülerinnen- und Schülergruppen durchgeführt werden. Die virtuellen Experimente wurden in den schuleigenen Informatikräumen bewältigt. In beiden Gruppen wurden vor jedem Experiment klare Instruktionen gegeben. Danach führten die Probandinnen und Probanden die vorbesprochenen Versuche möglichst eigenständig durch.

Bewusst wurde darauf Rücksicht genommen, in allen Schulstufen der Sekundarstufe I verschiedenartige Experimente durchzuführen. Zu diesem Zweck fand die Auswahl der virtuellen Versuche nach dem derzeit gültigen österreichischen Lehrplan der jeweiligen Schulstufe statt. Die Experimente (virtuell und real) wurden in intensiver Vorplanung mit allen Lehrkräften abgesprochen, um sicher zu gehen, dass die Aufgaben aus verschiedensten Themenbereichen stammten. So konnte die allgemeine Motivationslage beim Experimentieren getestet werden und die Aufgabenwahl wurde nicht durch persönliche Präferenzen von Seiten der Lehrenden sowie der Lernenden beeinflusst.

Themengleich wurde jeweils der Realversuch dem virtuellen Versuch gegenübergestellt. In der zweiten Klasse (6. Schulstufe) ging es um Experimente zum Flaschenzug, zum Hebelgesetz, zu den Kräften und zu den Feldlinien. In der dritten Klasse (7. Schulstufe) waren das Ohm'sche Gesetz, die Aggregatzustände, Stromkreis (Parallel- und Serienschaltung, Wechselschalter) und Multimeter Basis für den Motivationsvergleich. In der vierten Klasse (8. Schulstufe) standen Experimente zu elektromagnetischer Induktion, Serienschaltung von Widerständen, Generator, Lichtbrechung sowie Spannungs- und Strommessung auf dem Programm und wurden ebenfalls im Realversuch und beim virtuellen Experiment durchgeführt und verglichen. Die Hyperlinks zu den virtuellen Experimenten waren auf der Homepage des Autors zu finden. Die teilnehmenden Pädagoginnen und Pädagogen aus dem Fachbereich Physik konnten im Rahmen ihrer Methodenfreiheit die Materialien für das reale Experiment selbst wählen. Damit sollte gewährleistet sein, dass der Realversuch in gewohnter, authentischer Form durchgeführt werden konnte und keine Beeinflussung durch extra zur Verfügung gestellte Versuchsmedien zum Tragen kam.

Da eine Auflistung sämtlicher Versuchsanordnungen den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde, sind hier nur zwei Beispiele näher dargestellt.

Beispiel 1: Je nach Leistungsfortschritt hatten die Probandinnen und Probanden die Möglichkeit, eigenständig Experimente zu Serienschaltung, Parallelschaltung und Erkundung eines Wechselschalters durchzuführen.

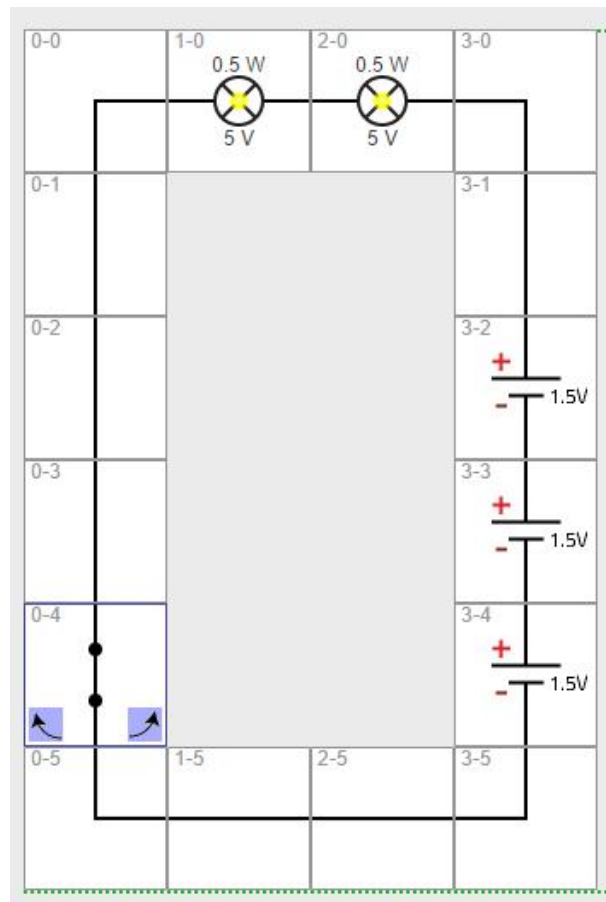


Abbildung 35: Stromkreis virtuelles Experiment

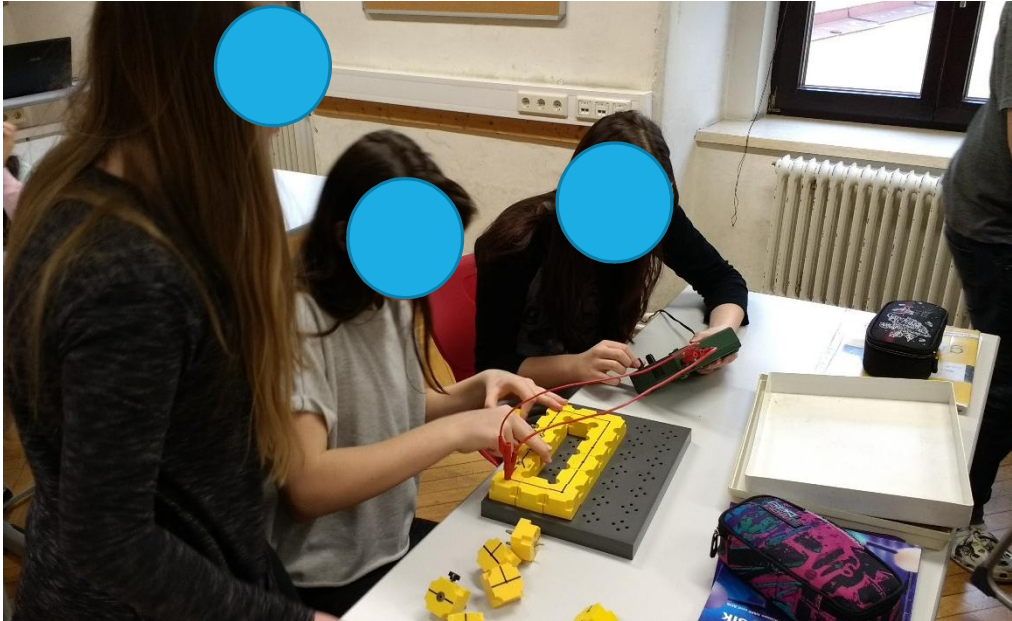


Abbildung 36: Stromkreis reales Experiment

Beispiel 2: Bei diesem Experiment erforschten die Schülerinnen und Schüler das zweiseitige Hebelgesetz. Dabei sollten die Massestücke sowohl in ihrer Anzahl als auch im Abstand zum Drehpunkt verändert werden und danach eine Formulierung für das zweiseitige Hebelgesetz gefunden werden.

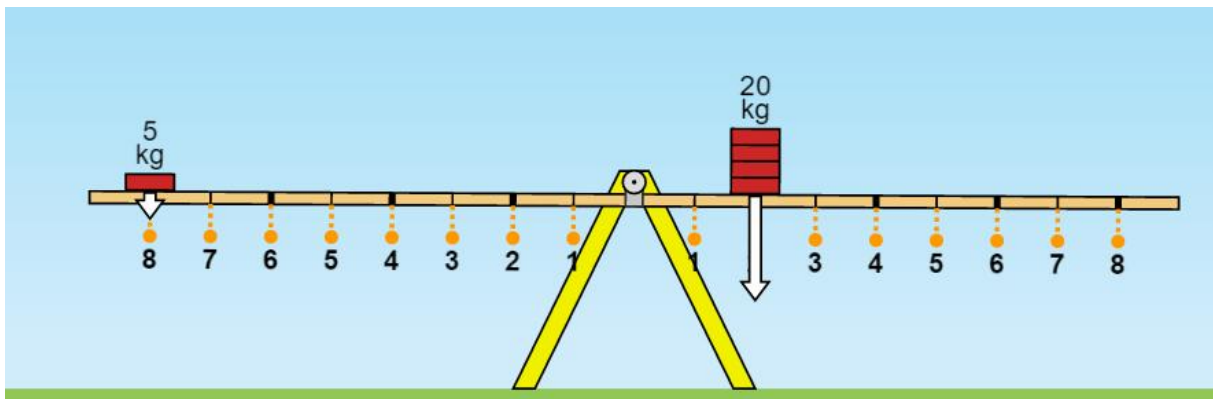


Abbildung 37: Hebelgesetz virtueller Versuch

Empirisch-explorativer Forschungsteil



Abbildung 38: Schülerinnen- und Schülerversuche zum Hebelgesetz am Computer

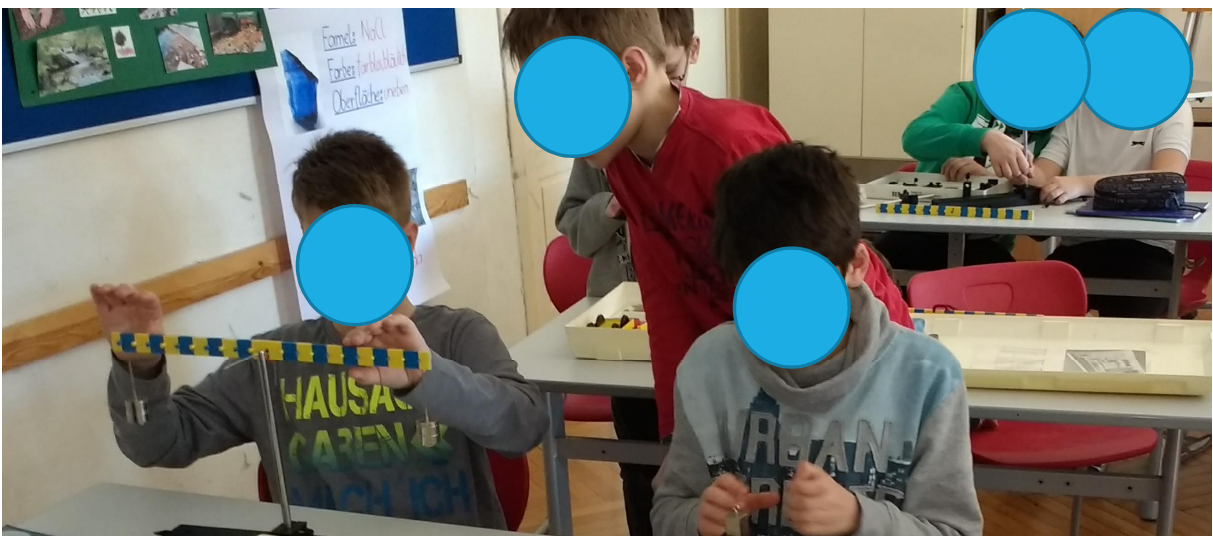


Abbildung 39: Hebelgesetz realer Versuch

4.4 Forschungshypothesen

Die Fragestellungen, die die Grundlage für die vorliegende Forschungsarbeit bilden, werden jeweils in Form von zwei einander ausschließenden Hypothesen, der Nullhypothese (H_0) und der Alternativhypothese (H_1) entwickelt. Diese werden dann anhand der Untersuchungsdaten auf ihre Signifikanz hin untersucht. Generell überprüft die gegenständliche Forschungsarbeit die Unterschiede zweier Populationen. Bei der Nullhypothese wird angenommen, dass trotz Intervention, also der Durchführung von virtuellen Versuchen, zwischen den Stichproben, die der Gesamtpopulation entnommen worden sind, kein Unterschied besteht ($H_0: \mu_1 = \mu_2$). Gegengleich wird die Alternativhypothese formuliert, nämlich, dass zwischen den Populationen beziehungsweise deren Stichproben ein Unterschied nachgewiesen werden kann ($H_1: \mu_1 \neq \mu_2$) (vgl. Bortz & Döring, 2015, S. 492).

Die statistische (Alternativ-)Hypothese formuliert im Sinne der operationalen (Forschungs-)Hypothese die Relation der jeweiligen Populationsparameter. Diese statistische Alternativhypothese (H_1) wird durch eine komplementäre statistische Nullhypothese (H_0) zu einem Hypothesenpaar ergänzt. (Bortz & Döring, 2015, S. 493)

Erst wenn das Ergebnis aus der Untersuchung der Stichprobe signifikant ist, wird es für gültig angenommen.

Bei der vorliegenden Studie ist dies nur dann der Fall, wenn zu mehr als 95% sicher ist, dass sich die virtuell durchgeführten Versuche positiv auf die Motivation der Schülerinnen und Schüler im Physikunterricht auswirken. In diesem Fall kann die Nullhypothese zu weniger als 5% verifiziert werden. Diese hätte dann ihre Berechtigung, wenn die Kontrollgruppe keine unterschiedlichen Motivationsparameter aufweist oder sogar motivierter wäre als die Experimentalgruppe. Die Verwerfung der Nullhypothese zeigt, dass die aufgestellte Forschungshypothese Gültigkeit hat (vgl. Batinic & Appel, 2008, S. 34f.).

4.4.1 Hypothese 1, intrinsische Regulation

Bezugnehmend auf das Kapitel 3.13.9 sei hier nochmals erwähnt, dass sich Motivation nach Deci und Ryan (1993, S. 234ff.) in den Ausprägungen motivierten Handelns und der dafür verantwortlichen Steuerungsprozesse (Regulierung) abstufen lässt. “[M]otivierte Handlungen [lassen sich] nach dem Grad ihrer Selbstbestimmung bzw. nach dem Ausmaß ihrer Kontrolliertheit unterscheiden.“ (Deci & Ryan, 1993, S. 225) Manche Handlungen werden aufgezwungen und sind daher fremdbestimmt, andere werden aus freier Entscheidung gesetzt und sind autonom.

Die Unterscheidung in externale, introjizierte, identifizierte, integrierte und intrinsische Regulation ist auf den Grad der Selbstbestimmung zurückzuführen (vgl. Korner, Urban-Woldron & Hopf, 2012, S. 98ff.).

Die erste Hypothese der gegenständlichen Untersuchung möchte die intrinsische Regulation messen, den „Prototyp selbstbestimmten Verhaltens“ (vgl. Deci & Ryan, 1993, S. 226). Sie ist dadurch charakterisiert, dass nicht von außen angeregte Handlungsziele in das Selbst integriert werden, sondern bestimmte Ziele ihrer selbst willen und wegen der bei der Ausführung empfundenen Freude realisiert werden (vgl. Mansfeld, 2011, S. 91).

Bei der intrinsischen Regulation ist von der höchsten Selbstbestimmung auszugehen, denn hinter ihr steht die am oberen Ende der Skala des Selbstbestimmungskontinuums (Kapitel 3.13.9) angesiedelte intrinsische Motivation (vgl. Pedrotti & Nistor, 2014, S. 333; Müller et al., 2007, S. 6; Wild & Möller, 2009, S. 159; Deci & Ryan, 2002, S. 3ff.).

Es steht außer Frage, dass ein hoher Bedarf an Untersuchungen zur intrinsischen Regulation im schulischen Bereich gegeben ist, denn nach Müller et al. (2007, S. 6) hat selbstbestimmt motiviertes Lernen eine große pädagogische Bedeutung und bewirkt eine höhere Lernqualität. Im Vergleich zu externaler Regulation weisen selbstbestimmt Lernende langfristig bessere Lernleistungen auf (vgl. ebd., S. 6).

[I]ntrinsische Motivation als Grundlage einer maximal selbstbestimmten Entscheidungsfindung führt zu erhöhter Lernaktivität und damit auch zu besseren Ergebnissen im Wissens- und Kompetenzerwerb. (Pedrotti & Nistor, 2014, S. 333)

Selbstbestimmte Lernende sind zufriedener beim Lernen, eignen sich Wissen differenzierter und zusammenhängender an, weisen zumeist längere Behaltensleistungen des Gelernten auf und wenden ihre Wissensbestände eher an. Ferner scheitern intrinsisch motivierte Lernende seltener an den Anforderungen einer Bildungseinrichtung. (Müller et al., 2007, S. 6)

Mit dem folgenden Hypothesenpaar wird die intrinsische Regulation (intrinsische Motivation) bei dieser Studie untersucht:

Nullhypothese: Es gibt keinen Unterschied zwischen real und virtuell durchgeführten Schülerinnen- und Schülerversuchen im Physikunterricht der Sekundarstufe I in Bezug auf die intrinsische Regulation (intrinsische Motivation).

Alternativhypothese: Im Vergleich zu real durchgeführten Schülerinnen- und Schülerversuchen im Physikunterricht der Sekundarstufe I steigert sich die intrinsische Regulation der Lernenden bei der Durchführung virtueller Versuche.

Die folgenden Items wurden nach geringfügigen Formulierungsänderungen aus der Studie „Skalen zur motivationalen Regulation beim Lernen von Schülerinnen und Schülern“ von Müller et al. aus dem Jahr 2007 entnommen. Müller et al. (2007, S. 3) greifen bei diesen Items selbst auf den „Academic Self-Regulation Questionnaire (SRQ-A) Test“ von Ryan und Conell aus dem Jahr 1989 zurück. Diesem Test liegt die Selbstbestimmungstheorie von Deci und Ryan zugrunde und er überprüft die intrinsische und extrinsische Motivation bzw. qualitative Regulationsstile (vgl. Müller et al., 2007, S. 3).

Da bei der vorliegenden Hypothese der höchste Grad der Selbstbestimmung der Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I gemessen werden soll, wurden nur jene Fragen aus diesem Set ausgewählt, die Aussagen zur intrinsischen Regulation zulassen:

- 1) Die heute durchgeführten Versuche haben mir Spaß gemacht.
- 2) Ich habe heute gerne mitgearbeitet, weil ich gerne physikalische Aufgaben löse.
- 3) Ich habe heute gerne mitgearbeitet, weil ich gerne über physikalische Versuche nachdenke.
- 4) Ich habe heute gerne mitgearbeitet, weil ich neue Dinge lernen konnte.

4.4.2 Hypothese 2, aktuelle Motivation – Komponente Herausforderung

In den folgenden Hypothesen (2 - 5) werden die einzelnen Komponenten der aktuellen Motivation untersucht. Diese sind „Herausforderung, Interesse, Erfolgswahrscheinlichkeit und Misserfolgsbefürchtung“. Obwohl diese Komponenten der aktuellen Motivation theoretisch in jeder Kombination⁹⁸ auftreten können (vgl. Bachmann, 2009, S. 51), kennzeichnen „[h]ohes Interesse, Herausforderung und Erfolgswahrscheinlichkeit kombiniert mit geringer Misserfolgsbefürchtung [...] die hoch Motivierten.“ (ebd., S. 84)

Zu ihrer Erfassung werden Teile des aus 18 Items bestehenden Fragebogens FAM von Rheinberg, Vollmeyer und Burns herangezogen (vgl. 2001, S. 57ff.). Dieser Fragenbogen wurde in den letzten Jahren immer wieder zur Untersuchung der aktuellen Motivation im Unterricht (vgl. Bachmann, 2009, S. 95; Anus, 2015, S. 93ff.) eingesetzt und erweist sich laut Korner (2015, S. 87; vgl. auch Mézes & Erb, S. 1 ff.; Cauet, 2016, S. 128 ff.; Keller, Neumann & Fischer, 2009, S. 367) auch für die Motivationsforschung im Physikunterricht als zeitgemäß.

Da die Wirkung einer Intervention sowohl vom Personfaktor Motiv als auch von der momentanen Lernsituation abhängig ist, empfehlen Rheinberg et al., „gleich die in der gegebenen Situation aktualisierte Motivation zu erfassen.“ (ebd., S. 61) Die aktuelle Motivation tritt dann auf, wenn die Motivstruktur einer Person durch eine bestimmte Situation angeregt wird (vgl. Zander, 2010, S. 52).

Nach Künsting (2007, S. 36) entsteht aktuelle Motivation, „wenn die stabilere Motivstruktur einer Person mit spezifischen Anregungsinhalten einer Lernsituation übereinstimmt [...]“.

⁹⁸ „Eine Person mit einer hohen Erfolgswahrscheinlichkeit kann gleichzeitig eine hohe Misserfolgsbefürchtung erleben, ein hohes Interesse haben und nur gering gefordert sein.“ (Bachmann, 2009, S. 51)

Nach Rheinberg, Vollmeyer und Burns (2001, S. 57ff.) ist die Herausforderung eine erfolgsbezogene Komponente der Leistungsmotivation und ein Teilaspekt aktueller Motivation und spielt neben dem Interesse eine wesentliche Rolle für die Leistungsprognose.

Das folgende Hypothesenpaar untersucht eben diesen Teilaspekt Herausforderung:

Nullhypothese: Es gibt keinen Unterschied zwischen real und virtuell durchgeführten Schülerinnen- und Schülerversuchen im Physikunterricht der Sekundarstufe I in Bezug auf die Herausforderung der Lernenden.
--

Alternativhypothese: Im Vergleich zu real durchgeführten Schülerinnen- und Schülerversuchen im Physikunterricht der Sekundarstufe I fühlen sich Lernende bei virtuell durchgeführten Versuchen stärker herausgefordert.

Die Items zur Untersuchung dieser Hypothese wurden aus dem FAM entnommen und für die gegenständliche Arbeit adaptiert:

- 5) Die heutige Aufgabe war eine richtige Herausforderung für mich.
- 6) Ich war sehr gespannt darauf, wie gut ich hier abschneiden werde.
- 7) Ich war fest entschlossen, mich bei der heutigen Aufgabe voll anzustrengen.
- 8) Ich bin heute schon ein wenig stolz auf meine Tüchtigkeit.

4.4.3 Hypothese 3, aktuelle Motivation – Komponente Interesse

Eine weitere Komponente der aktuellen Motivation ist das Interesse.

Laut der Selbstbestimmungstheorie von Deci und Ryan (2000, S. 71) – wie in Kapitel 3.14 beschrieben – sowie nach den Erkenntnissen von Langens und Schüler (2003, S. 100) – siehe Kapitel 3.13.2 – ist das einer Person innewohnende Interesse wesentlich für die Aufrechterhaltung des Leistungsmotivs verantwortlich.

Nach Rheinberg, Vollmeyer und Burns (2001, S. 11) bleibt bei hohem Interesse das Aufgabenengagement auch dann erhalten, „wenn sich die Dinge als schwieriger und längerdauernd herausstellen.“ Das Interesse die Aufgabe zu lösen, bleibt aber auch nach Rheinberg et al. (ebd., S. 11) nur solange vorhanden, wie „die Aufgabe noch irgendwie“ gelöst werden kann.

Die im Folgenden genannte Hypothese untersucht das Interesse mit Hilfe des FAM. Auch hier wurde die Fragestellung geringfügig abgeändert – aber alle Fragestellungen, die auch Rheinberg et al. zur Kategorie des aktuellen Interesses zählen, wurden übernommen.

Nullhypothese: Es gibt keinen Unterschied zwischen real und virtuell durchgeführten Schülerinnen- und Schülerversuchen im Physikunterricht der Sekundarstufe I in Bezug auf das Interesse der Lernenden.
--

Alternativhypothese: Im Vergleich zu real durchgeführten Schülerinnen- und Schülerversuchen im Physikunterricht der Sekundarstufe I zeigen die Lernenden größeres Interesse an virtuell durchgeführten Versuchen.

Mit folgenden Items wird das aktuelle Interesse untersucht:

- 9) Ich mag solche Schülerversuche.
- 10) Bei der heutigen Aufgabe mag ich die Rolle des Wissenschaftlers, der Zusammenhänge entdeckt.
- 11) Nach den Erklärungen fand ich die heutige Aufgabenstellung sehr interessant.
- 12) Bei den heutigen Aufgaben (Versuchen) brauche ich keine Belohnung, sie machen mir auch so viel Spaß.
- 13) Solche Aufgaben wie heute (Versuche) würde ich auch in meiner Freizeit bearbeiten.

4.4.4 Hypothese 4, aktuelle Motivation – Komponente Erfolgswahrscheinlichkeit

Wie in Kapitel 3.13.3 dargestellt, ist nach Heckhausen und Heckhausen (2010, S. 134) ein leistungsthematischer Anreiz einzig und allein von subjektiver Erfolgswahrscheinlichkeit des Handlungsausgangs abhängig.

Mittelschwere Aufgaben motivieren am stärksten, allerdings nur dann, wenn das Erfolgsmotiv gegenüber dem Misserfolgsmotiv überwiegt. Daher wurden die Beispiele für die virtuellen Experimente der vorliegenden Untersuchung so ausgewählt, dass sie nicht zu trivial und auch nicht zu schwierig sind.

Das folgende Hypothesenpaar untersucht die Komponente Erfolgswahrscheinlichkeit:

Nullhypothese: Es gibt keinen Unterschied zwischen real und virtuell durchgeführten Schülerinnen- und Schülerversuchen im Physikunterricht der Sekundarstufe I in Bezug auf die subjektive Erfolgswahrscheinlichkeit.

Alternativhypothese: Im Vergleich zu real durchgeführten Schülerinnen- und Schülerversuchen im Physikunterricht der Sekundarstufe I verspüren die Lernenden bei virtuell durchgeführten Versuchen eine höhere subjektive Erfolgswahrscheinlichkeit.

Durch folgende Items wird die Erfolgswahrscheinlichkeit überprüft (vgl. Rheinberg et al., 2001, S. 57f.):

- 14) Ich hatte das Gefühl, der Schwierigkeit dieser Aufgabe gewachsen zu sein.
- 15) Ich hatte das Gefühl, dass ich die Aufgabe wahrscheinlich nicht schaffen werde.
- 16) Ich glaube, dass kann jeder schaffen.
- 17) Ich dachte, ich schaffe diese Aufgabe nicht.

4.4.5 Hypothese 5, aktuelle Motivation – Komponente Misserfolgsbefürchtung

Zur Überprüfung der Misserfolgsbefürchtung wird ebenfalls der Fragebogen zur Erfassung aktueller Motivation (FAM) von Rheinberg, Vollmeyer und Burns (2001, S. 57ff.) herangezogen.

Wie bereits in Kapitel 3.13.2 eingehend beschrieben, ist die Angst vor Misserfolg ein wesentlicher Faktor der Leistungsmotivation (vgl. DeCharms & Prafulachandra, 1965, S. 558ff.).

Bei Nichterreichen eines selbst auferlegten Zieles (innerer Gütemaßstab) sind Misserfolg und Unzufriedenheit die Folge (vgl. Schlag, 2012, S. 87). Dies führt oft zu Scham und Angst vor weiteren schlechten Ergebnissen (vgl. Rothermund & Eder, 2012, S. 105).

Das folgende Hypothesenpaar untersucht die Komponente Misserfolgsbefürchtung:

Nullhypothese: Es gibt keinen Unterschied zwischen real und virtuell durchgeführten Schülerinnen- und Schülerversuchen im Physikunterricht der Sekundarstufe I in Bezug auf Angst vor Misserfolg und Unzufriedenheit.

Alternativhypothese: Im Vergleich zu real durchgeführten Schülerinnen- und Schülerversuchen im Physikunterricht der Sekundarstufe I sinkt die Angst vor Misserfolg und Unzufriedenheit bei virtuell durchgeführten Versuchen.

Mittels folgender Items wird die Misserfolgsbefürchtung überprüft:

- 18) Ich fühlte mich unter Druck, bei der heutigen Aufgabe gut abschneiden zu müssen.
- 19) Ich fürchtete mich ein wenig davor, mich beim heutigen Versuch zu blamieren.
- 20) Es ist mir etwas peinlich, bei der Durchführung von Versuchen zu versagen.
- 21) Wenn ich an die Aufgabe zurückdenke, bin ich etwas beunruhigt.
- 22) Ich war ängstlich, während ich die Versuche durchgeführt habe.
- 23) Ich war bei der Durchführung sehr entspannt.

4.4.6 Hypothese 6, Flow-Erleben

Wie bereits in Kapitel 3.16 ausführlich beschrieben, ist das Flow-Erleben nicht auf das Erreichen eines Ziels fokussiert (Rheinberg et al., 2003, S. 263), sondern „die Tätigkeit selbst wird zur Belohnung, [...] weil jeder Schritt des Prozesses mit einem ursprünglich belohnenden Stimulus verknüpft wird“. (Csikszentmihalyi, 1996, S. 27) Die Tätigkeit ist „in sich selber lohnend“. (ebd., S. 36)

Nach Csikszentmihalyi (2010, S. 11) gehen Personen, die sich im Flow befinden, vollständig in ihrer Tätigkeit auf (vgl. auch Si, 2015, S. 8) und sind davon überzeugt, alles unter Kontrolle zu haben (vgl. Bätz et al., 2009, S. 309).

Basierend auf der Annahme, dass bei virtuellen Experimenten das Gefühl von Selbstbestimmtheit und die Gewissheit, dass nichts passieren kann, verstärkt werden, ist davon auszugehen, dass hier das Flow-Erleben gefördert wird (vgl. Bätz et al., 2009, S. 309).

Da derzeit – wie bereits mehrfach erwähnt – kaum Forschungsergebnisse bezüglich des Flow-Erlebens von Lernenden in der Sekundarstufe I bei der Durchführung von virtuellen Versuchen im Physikunterricht vorliegen, wird diesem Aspekt ein eignes Hypothesenpaar gewidmet:

Nullhypothese: Es gibt keinen Unterschied zwischen real und virtuell durchgeführten Schülerinnen- und Schülerversuchen im Physikunterricht der Sekundarstufe I in Bezug auf das Flow-Erleben.

Alternativhypothese: Im Vergleich zu real durchgeführten Schülerinnen- und Schülerversuchen haben die Lernenden im Physikunterricht der Sekundarstufe I bei virtuellen Versuchen öfters ein Flow-Erleben.

Folgende Items werden zur Erhebung des Flow-Erlebens herangezogen (vgl. Rheinberg, Vollmeyer & Burns, 2001, S. 57):

- 24) Ich fühlte mich heute optimal beansprucht.
- 25) Ich merkte gar nicht, wie die Zeit verging.
- 26) Ich hatte keine Mühe, mich zu konzentrieren.
- 27) Mein Kopf war völlig klar.
- 28) Ich war ganz in meine Versuche vertieft.

Diese Items wurden aus dem Fragenkatalog von Rheinberg (2004, S. 43) zur vollständigen Erfassung des Flow-Erlebens entnommen. Die ursprünglich zehn Items wurden auf fünf gekürzt, da die Pretests zeigten, dass einige Kinder der Sekundarstufe I nicht alle Fragen verstanden oder manche sogar missinterpretierten (z. B.: „Ich bin völlig selbstvergessen“). Außerdem wurde, um klar zwischen den realen und virtuellen Versuchen unterscheiden zu können, unter anderem das Wort „heute“ (Item Nr. 24) eingefügt – inhaltlich gab es keine Änderungen.

4.4.7 Hypothese 7, Autonomieerleben

Nach Deci und Ryan hat jeder Mensch das Bestreben nach Autonomie (vgl. Deci & Ryan, 1994, S. 6f.; Deci & Ryan, 1993, S. 228ff.). Shushulova (2009, S. 58) zeigt, dass Lernende, die selbstbestimmt agieren, Lernen als angenehmen, faszinierenden Prozess erleben. Dies wiederum wirkt sich positiv auf die kognitiven Fähigkeiten der Lernenden aus (vgl. Bätz et al., 2009, S. 316).

Folgendes Hypothesenpaar untersucht das Erleben von Autonomie:

Nullhypothese: Es gibt keinen Unterschied zwischen real und virtuell durchgeführten Schülerinnen- und Schülerversuchen im Physikunterricht der Sekundarstufe I in Bezug auf das Autonomieerleben.

Alternativhypothese: Im Vergleich zu real durchgeführten Schülerinnen- und Schülerversuchen haben die Lernenden im Physikunterricht der Sekundarstufe I bei virtuellen Versuchen ein größeres Autonomieerleben.

Die Items zur Feststellung des Autonomieerlebens wurden von Rakoczy (2006, S. 834) beinahe wortident übernommen:

29) Bei den heutigen Versuchen hatte ich die Möglichkeit, neue Themen selbstständig zu erkunden.

30) Bei den heutigen Versuchen konnte ich selbst entscheiden, wie ich arbeiten will.

4.4.8 Hypothese 8, Kompetenzerleben

Aus dem Kapitel 3.13.9 geht hervor, dass das Kompetenzerleben wesentlich zu selbstbestimmtem, intrinsisch motiviertem Handeln beiträgt. Menschen, die das Gefühl haben, etwas besonders gut zu können, entwickeln ein individuelles Interesse für bestimmte „Interessensgegenstände“ (vgl. Ferdinand, 2013, S. 71). Guderian (2007, S. 53) zeigt – wie in Kapitel 3.13.9 beschrieben – dass das Kompetenzerleben neben dem Autonomieerleben und dem Wunsch nach sozialer Eingebundenheit ein wichtiger Faktor ist, um Interesse und Motivation zu fördern.

Zur Untersuchung des Kompetenzerlebens wurde folgendes Hypothesenpaar erstellt:

Nullhypothese: Es gibt keinen Unterschied zwischen real und virtuell durchgeführten Schülerinnen- und Schülerversuchen im Physikunterricht der Sekundarstufe I in Bezug auf das Kompetenzerleben.

Alternativhypothese: Im Vergleich zu real durchgeführten Schülerinnen- und Schülerversuchen haben die Lernenden im Physikunterricht der Sekundarstufe I bei virtuellen Versuchen ein größeres Kompetenzerleben.

Die Items zur Feststellung des Kompetenzerlebens wurden von Rakoczy (2006, S. 834) inhaltsgleich übernommen:

- 31) Ich fühlte mich über meine Fortschritte (während des Experimentierens) informiert.
- 32) Ich wurde für gute Leistungen gelobt.
- 33) Meine guten Leistungen (während der Versuchsdurchführung) fanden heute Anerkennung.

5 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgt nach den elementaren Regeln der deskriptiven Statistik und erstreckt sich von der Beschreibung der gewonnenen Daten über die Auswertung der Forschungshypothesen unter Zuhilfenahme von Wahrscheinlichkeitsverteilungen, Tabellen und Diagrammen bis hin zur Diskussion der Ergebnisse. Besonderer Wert wird auf die Signifikanzüberprüfung gelegt. Für diesen Schritt wird in weiterer Folge unter anderem auf die Bedeutung der Normalverteilung und des Skalenniveaus der Stichprobe eingegangen (vgl. Bortz & Schuster, 2010, S. 2f.).

Vor der Hypothesenüberprüfung werden die relevanten Items einer Konsistenzanalyse unterzogen. Mittels der Alpha-Faktorenanalyse zeigt sich, dass alle Items, wie im Theorieteil geplant, den jeweiligen Forschungshypothesen zugeordnet werden können und keine Items gestrichen werden müssen (vgl. Bortz & Schuster, 2010, S. 429). Das Zusammenfassen der Faktoren dient der besseren Übersicht und ermöglicht eine komprimierte Replik. Der relevante Cronbachs Alpha liegt je nach Hypothese zwischen 0,703 und 0,842, somit kann bei jeder Forschungshypothese von einer guten Reliabilität ausgegangen werden (vgl. Weiber & Mülhhaus, 2014, S. 137). Die Hypothesen⁹⁹ 4 und 5 können nach Umcodierung zu einer Hypothese (Misserfolgsbefürchtung) zusammengefasst und im Programm SPSS ausgewertet werden. Alle Hypothesenpaare werden auf ihre Signifikanz getestet, um den größtmöglichen Erkenntnisgewinn zu garantieren. Dies lässt dann weitere Interpretationen und Analysen zu (vgl. Schwarz, 2016, o. S., online).

5.1 Stichprobe

An dieser Untersuchung haben insgesamt 407 Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I teilgenommen. 18 unseriös beantwortete Fragebögen wurden von der Erhebung ausgeschlossen. Ein Fragebogen wurde dann als unbrauchbar eingestuft, wenn bei allen Items die gleiche Antwortmöglichkeit angeklickt wurde oder die 33 Items

⁹⁹ Erfolgswahrscheinlichkeit (4) und Misserfolgsbefürchtung (5)

Statistische Auswertung

in Zeit von weniger als einer Minute beantwortet wurden. Auf Grund von krankheitsbedingten Schwankungen nahmen an der Ersterhebung 398, am Realversuch 406 und am virtuellen Experiment 407 Probandinnen und Probanden teil.

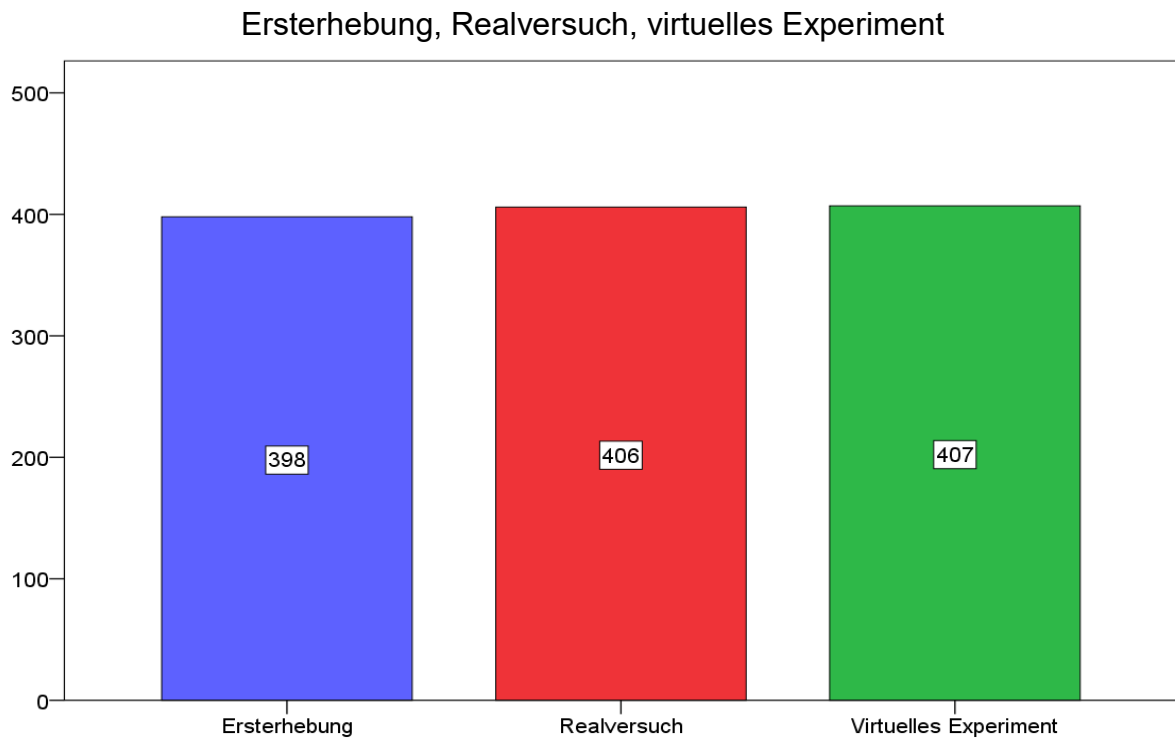


Abbildung 40: Stichprobe aufgeteilt nach Testzeitpunkt

Wie der folgenden Grafik zu entnehmen ist, waren 55,1% der getesteten Personen weiblich und 44,9% männlich. Das Studiendesign ist als Quasi-Experiment angelegt und der leichte Überhang der Mädchen ist durch die tatsächliche Klassenzusammensetzung (Populationsverteilung) begründet.

Insgesamt wurden innerhalb der drei Testzeitpunkte 544 Fragebögen von Jungen und 677 von Mädchen beantwortet.

Statistische Auswertung

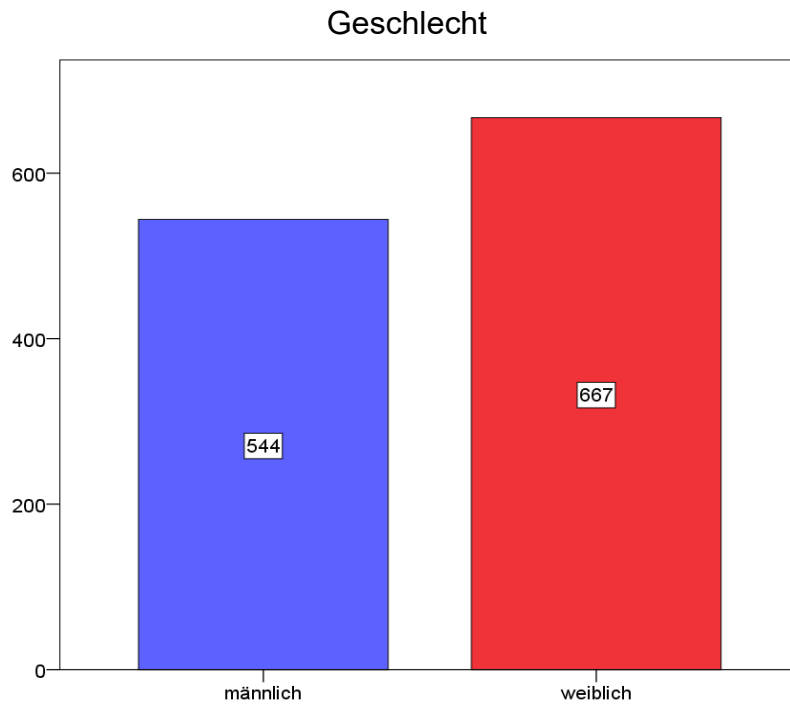


Abbildung 41: Stichprobe aufgeteilt nach Geschlecht

In Österreich findet in der Sekundarstufe I der Physikunterricht von der zweiten bis zur vierten Klasse statt, das entspricht der sechsten bis achten Schulstufe. Die Schülerinnen und Schüler der zweiten Klassen waren mit 37%, der dritten Klassen mit 29% und der vierten Klassen mit 34% vertreten.

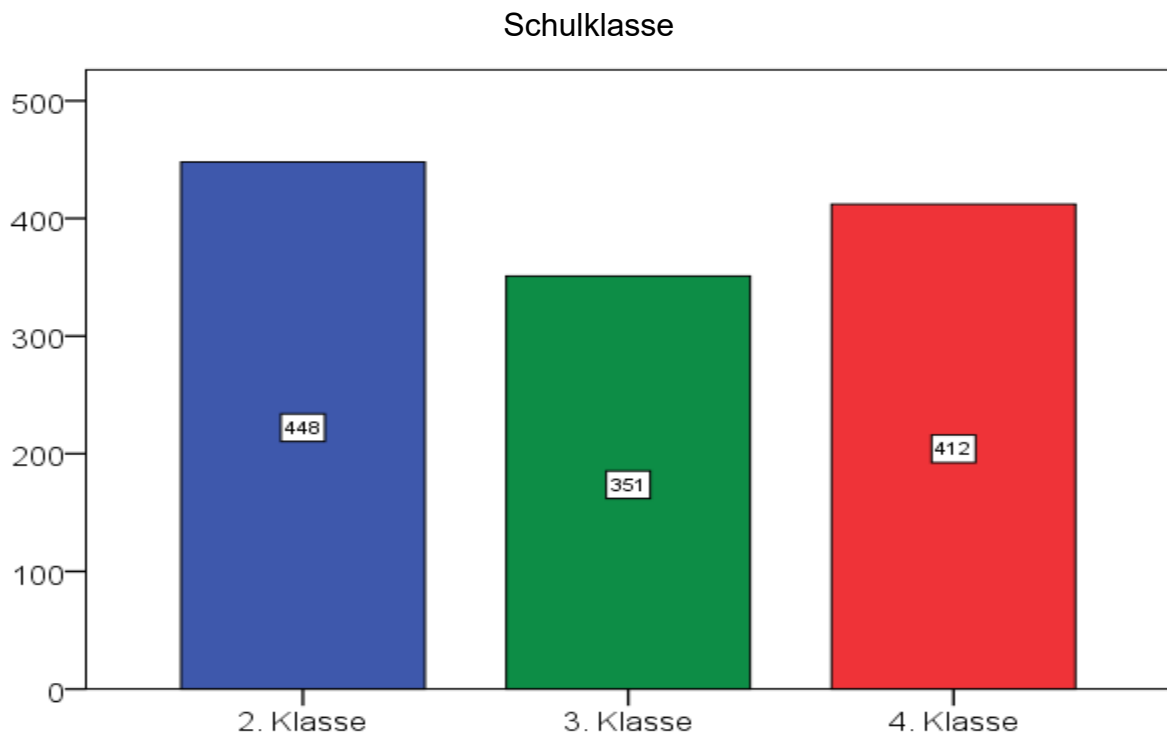


Abbildung 42: Stichprobe aufgeteilt nach Schulklasse

Wie folgendem Diagramm zu entnehmen ist, sind die Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I zwischen 11 und 15 Jahren alt. Bei den 16-jährigen handelt es sich offensichtlich um Repetenten, also um alle jene, die bereits ein Schuljahr wiederholen mussten oder ein Schuljahr in der Vorschule¹⁰⁰ besucht hatten.

Altersstruktur

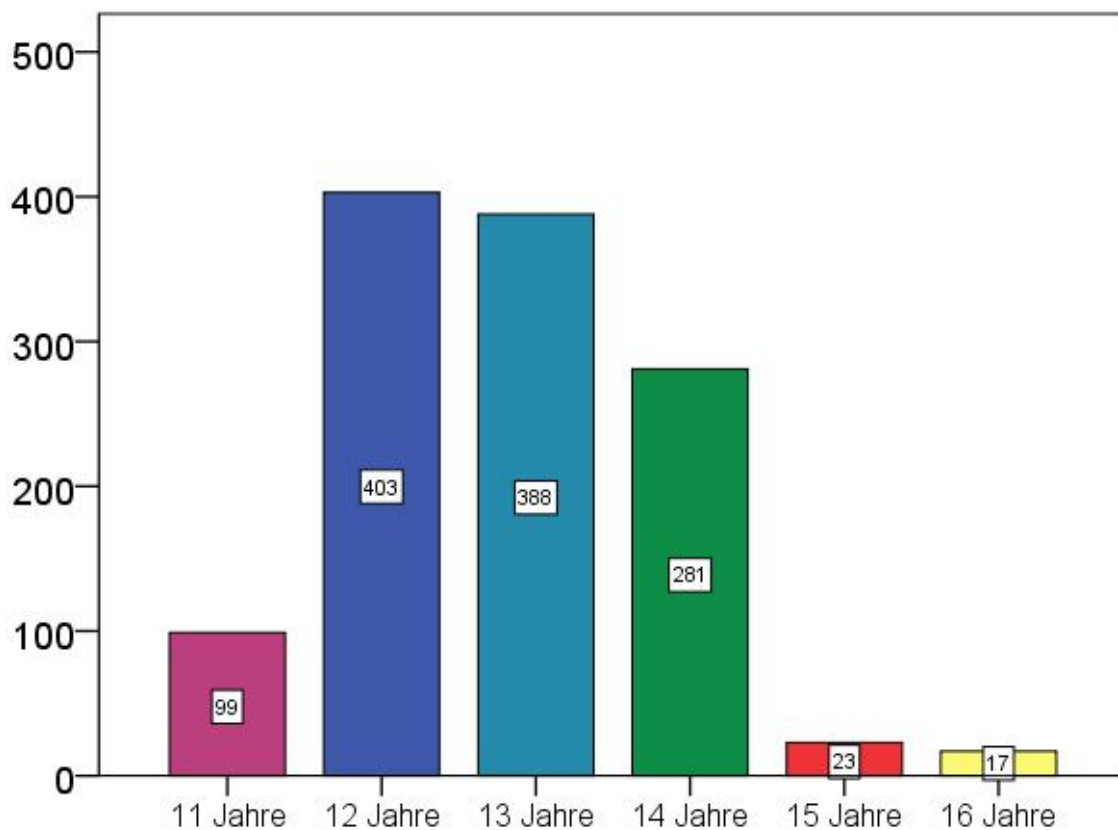


Abbildung 43: Stichprobe aufgeteilt nach Lebensalter

Wie bereits in Kapitel 4.3 erläutert, wurde die Studie zu drei Testzeitpunkten durchgeführt. Testzeitpunkt 1 erfasste die momentane Motivationslage. Die Testzeitpunkte 2 und 3 wurden in Form eines Cross Over-Designs gestaltet, sodass wechselseitig im zweiten als auch im dritten Durchgang eine Interventions-¹⁰¹ und eine

¹⁰⁰ „In der Vorschulstufe sind jene Kinder, die in dem betreffenden Kalenderjahr schulpflichtig geworden sind, jedoch noch nicht die Schulreife besitzen und ebenso jene Kinder, deren vorzeitige Aufnahme in die 1. Schulstufe widerrufen wurde, im Hinblick auf die für die 1. Schulstufe erforderliche Schulreife zu fördern, wobei die soziale Integration behinderter Kinder zu berücksichtigen ist. Die Vorschulstufe kann in einem getrennten Angebot oder gemeinsam mit anderen Schulstufen geführt werden.“ (Bundesministerium für Bildung, 2016, o. S., online)

¹⁰¹ Virtuelle Experimente

Kontrollgruppe¹⁰² auf ihre Motivationslage getestet wurden. Durch genaue Planung war die Gruppengröße der Interventions- und der Kontrollgruppe beim zweiten Zeitpunkt mit je 203 Teilnehmerinnen und Teilnehmern exakt gleich.

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	Realversuch	203	50,0	50,0	50,0
	Virtuelles Experiment	203	50,0	50,0	100,0
	Gesamt	406	100,0	100,0	

Tabelle 7: Stichprobengröße Testzeitpunkt 2

Auch beim dritten Testdurchlauf waren die Befragten in nahezu gleich große Gruppen aufgeteilt: 203 waren wieder in der Kontrollgruppe und 204 nahmen am virtuellen Experiment teil.

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	Realversuch	203	49,9	49,9	49,9
	Virtuelles Experiment	204	50,1	50,1	100,0
	Gesamt	407	100,0	100,0	

Tabelle 8: Stichprobengröße Testzeitpunkt 3

5.1.1 Stichprobengröße

Die Stichprobengröße wurde a priori mittels der Software G*Power 3.1.9.2 für die zweifaktorielle Varianzanalyse erhoben. Ausgangsbedingung für die vorliegende Erhebung sind drei Testzeitpunkte und die Einteilung der Schülerinnen und Schüler nach zweiter, dritter und vierter Klasse der Sekundarstufe I. Somit ergibt sich also eine 3 x 3 Varianzanalyse. Genau genommen liegen also zwei Haupteffekte (Testzeitpunkt, Schulklasse) sowie deren Wechselwirkung vor. Für die Haupteffekte Testzeitpunkt und Schulklasse liegen also je 2 Zählerfreiheitsgrade $df_{\text{Testzeitpunkt, Schulklasse}} = p - 1$ ¹⁰³ vor. Somit ergibt sich eine Wechselwirkung von A×B: $df_{\text{Testzeitpunkt} \times \text{Schulklasse}} = 4$, während die Gruppenanzahl mit 9 (3 Klassen x 3 Testzeitpunkte) angenommen wird. Ein wissenschaftlich üblicher Effekt mittlerer Größe für den Faktor Testzeitpunkt ist dann

¹⁰² Reale Experimente

¹⁰³ 2 x 2 Freiheitsgrade

gegeben, wenn er mit seinen 3 Ausprägungen mit 80%iger Wahrscheinlichkeit¹⁰⁴ zu finden ist (vgl. Rasch, Frieze, Hofmann & Naumann, 2014, S. 1 ff., online-Ergänzung zum Buch). Die Berechnung mit dem Programm G*Power 3.1.9.2 zeigt, dass dazu eine Probandinnen- und Probandenzahl von mindestens 196 nötig ist. Dieser Wert (80%) wird von der Scientific Community als ausreichend akzeptiert (vgl. Bortz & Döring, 2015, S. 638).

Die folgende Tabelle soll eine weitere Übersicht über die Teststärke in Abhängigkeit zur Probandinnen- und Probandenzahl geben – sinnvollerweise wurde die Anzahl der Probandinnen und Probanden auf ganze Zahlen gerundet:

Power	Total sample size
0.600000	132
0.650000	145
0.700000	160
0.750000	176
0.800000	196 ¹⁰⁵
0.850000	220
0.900000	251
0.950000	302

Tabelle 9: Planung der Stichprobengröße

Nach Bortz und Döring (ebd., S. 637) sollte „[a]uf Studien mit einer Teststärke von 50% oder sogar weniger [...] verzichtet werden. Für die vorliegende Studie wurde die Stichprobe noch größer geplant, um nach der Empfehlung von Leonhart (2008, S. 83) etwaige fehlende Werte zu kompensieren.

Die folgende Grafik visualisiert nochmals den Zusammenhang zwischen Stichprobenumfang und Teststärke und zeigt, dass Unterschiede mittleren Effekts ($f = 0,25$) bei einer Personenanzahl von $n = 406$ mit 98,9%iger Wahrscheinlichkeit gefunden werden. In diesem Fall wird also die geforderte Grenze von 80% wesentlich übertroffen und die Größe der Stichprobe ist mehr als ausreichend.

¹⁰⁴ Power = 0,80

¹⁰⁵ tolerierter Grenzwert

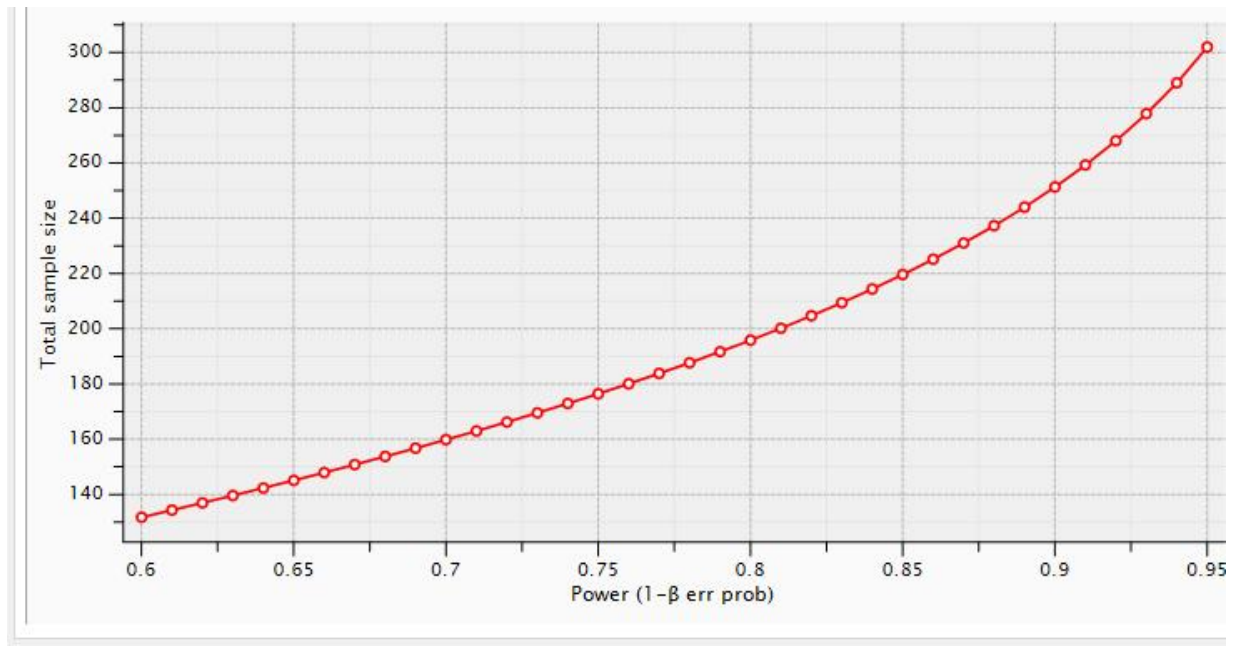


Abbildung 44: Planung der Stichprobengröße (grafische Darstellung)

Wie die nächste Grafik zeigt, liegt der kritische F-Wert im soeben berechneten Szenario bei 2.39. Ist also im vorliegenden Fall der empirisch ermittelte F-Wert größer als 2.39, muss die Nullhypothese verworfen werden und die Alternativhypothese als gültig angenommen und interpretiert werden.

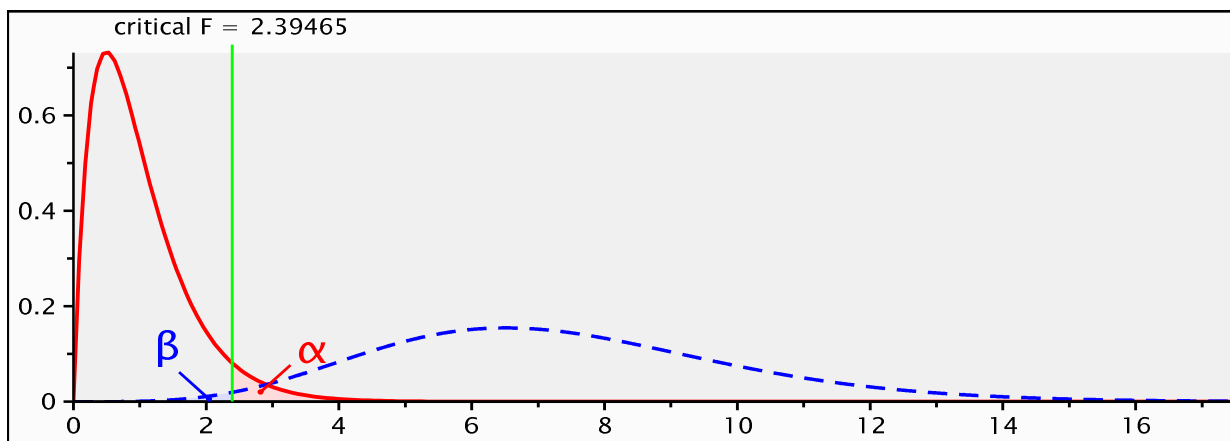


Abbildung 45: Teststärke tatsächlich

5.1.2 Datenqualität

Wie bereits in Kapitel 4.1 erläutert, wurde die Befragung elektronisch durchgeführt und einer Plausibilitätsprüfung unterzogen (vgl. Akremi, Baur & Fromm, S. 70). Dabei wurden die Sinnhaftigkeit der Häufigkeitsverteilungen, die Beantwortungsgeschwindigkeit und widersprüchliche Antworten kontrolliert. Da dies bei dieser Datenmenge¹⁰⁶ nur sehr schwer nachvollziehbar ist, wurden Kreuztabellen zur Qualitätssicherung herangezogen (vgl. ebd., S. 70ff.). Danach wurden die Datensätze direkt aus der Onlineerhebung in das Programm SPSS 21 importiert. Bei allen Items zur Motivationslage hatten die Schülerinnen und Schüler neben der 5-stufigen Likert-Skala auch die Möglichkeit, auf den Button „kann / will ich nicht beantworten“ zu klicken. Diese Daten wurden dann im Programm SPSS als fehlend gekennzeichnet. Bei den Hypothesentests wurde der Mittelwert mit der Mean-Funktion¹⁰⁷ berechnet, da dies den richtigen Umgang mit fehlenden Daten sicherstellt und das arithmetische Mittel nur von den vorhandenen Werten berechnet wird (vgl. Bauer & Fromm, 2008, S. 100).

5.2 Normalverteilung

Eine Normalverteilung ist eine Verteilungsform von gemessenen Werten, bei der die meisten Werte in der Nähe des Mittelwerts liegen und abfallend nach beiden Seiten gleichmäßig angeordnet sind (vgl. Bühl, 2016, S. 175f.). Zahlreiche statistische Auswertungsmethoden setzen diese Verteilungsform voraus.

Auf Grund der Stichprobengröße wird bei der vorliegenden Untersuchung das zentrale Grenzwerttheorem (central limit theorem) schlagend. Maaß, Mürdther und Rieß (S. 23) fordern bereits im Jahr 1983, dass der Stichprobenumfang umso größer zu wählen ist, „je stärker die Verteilung der Grundgesamtheit von der Normalverteilung abweicht.“ Als Faustregel führen sie eine Stichprobengröße $n \geq 25$ an. Jürg Schwarz (2016, o. S., online) von der Universität Zürich bestätigt im Jahr 2016, dass bei einem

¹⁰⁶ 46018 erhobene Einzeldaten

¹⁰⁷ Beispiel für Mean-Befehlszeile in SPSS 21:

MEAN(umkodiert14,Gefühl_wahrscheinlich_nicht_schaffen_werde_15,umkodiert16,Ich_dachte_schaffe_Aufgabe_nicht_17,Fühlte_mich_unter_Druck_gut_abscheiden_zu_müssen_18,Fürchtete_mich_vor_Blamage_beim_Versuch_19Peinlich_beim_Versuch_zu_blamieren_20,Aufgabe_zurückdenke_bin_ich_etwas_beunruhigt_21,Ängstlich_bei_Versuchsdurchführung_22,umkodiert_23)

Stichprobenumfang $n > 30$ pro Gruppe einfaktorielle und mehrfaktorielle Varianzanalysen und t-Tests problemlos durchführbar sind und nur unter dieser Grenze ein Test auf Normalverteilung anzusetzen ist.

Bei kleinen Stichprobenumfängen ($n = \text{Anzahl der Messwertpaare} < 30$) muss die Voraussetzung erfüllt sein, dass sich die Differenzen in der Grundgesamtheit normalverteilen. (Benesch, 2012, S. 209)

Diese Aussage deckt sich mit jener von Bortz und Döring (S. 641) – ebenfalls aus dem Jahr 2016 – die bestätigen, dass „die Mittelwertverteilung auch für extrem von der Normalität abweichende Grundgesamtheiten hinreichend normal ist, wenn $n \geq 30$ ist.“ Auch Wayne von der Boston University untermauert diese Aussage.

The central limit theorem states that if you have a population with mean μ and standard deviation σ and take sufficiently large random samples from the population with replacement, then the distribution of the sample means will be approximately normally distributed. This will hold true regardless of whether the source population is normal or skewed, provided the sample size is sufficiently large (usually $n > 30$). If the population is normal, then the theorem holds true even for samples smaller than 30. (Wayne, 2016, o. S., online)

Auch nach dem bekannten Statistiker Andy Field (2009, S. 45) ist bei Stichproben mit $n > 30$ von einer Normalverteilung auszugehen und der Einsatz von parametrischen Tests zu präferieren (vgl. auch Heinrich & Scharnbacher, 2013, S. 44; Duller, 2013, S. 224).

[W]e know from the central limit theorem that in large samples (above about 30) the sampling distribution will be normally distributed. (*ebd.*, S. 45)

Nach Stevens (2007, S. 57) ist auf Grund des zentralen Grenzwerttheorems bei größeren Stichproben ($n > 50$) eine Normalverteilung auf alle Fälle gewährleistet. Sind die Abweichungen geringfügiger, reichen bereits kleinere Stichproben ($10 < n < 20$) für die Annahme der Normalverteilung.

Bortz (1979, S. 118) postuliert, dass „das Zentrale Grenzwerttheorem [...] unabhängig von der Verteilungsform der Messwerte in der Grundgesamtheit [gilt]“.

Im IBM Handbuch zu SPSS 20 (2011, S. 33) ist sogar angemerkt, dass die Varianzanalyse¹⁰⁸ derart robust gegenüber Abweichungen von der Normalverteilung ist, dass keine Normalverteilung vorausgesetzt werden muss.

Da bei der vorliegenden Studie in allen Teilgruppen die Anzahl der Probandinnen und Probanden um ein Vielfaches über dem Grenzwert von 30 liegt, wird mit parametrischen – also der Normalverteilung zu Grunde liegenden – Auswertungsverfahren gearbeitet.

Zur Qualitätssteigerung werden zusätzlich nichtparametrische Tests die vorliegenden empirischen Befunde absichern (vgl. Barth, 2009, S. 132; Strauß, 2016, S. 210; Neubert, 2016, S. 201; Fischer, 2003, S. 105; Ruf, 2014, S. 163). Nach Hemmerich (2017, o. S., online) bietet sich gerade bei der Varianzanalyse nach dem Einsatz von parametrischen Verfahren wie der einfaktoriellen ANOVA an, ein nichtparametrisches Verfahren zu rechnen und beide Ergebnisse einander gegenüberzustellen. Dies wird in der vorliegenden Studie durch den Kruskal-Wallis-Test (H-Test) gewährleistet. Wird dieser Test zusätzlich zur Varianzanalyse signifikant, so können Verstöße gegen die Varianzhomogenität vernachlässigt werden (vgl. Bösener, 2014, S. 198).

5.3 Likert-Skala und Skalenniveau

Neben der Abklärung der Normalverteilung bedarf es für jede statistische Erhebung einer sorgfältigen Auswahl des jeweiligen Skalenniveaus. In den meisten Fällen ist die Zuordnung zu einem bestimmten Skalenniveau eindeutig. Bei der hier verwendeten Likert-Skala gibt es in der Fachliteratur jedoch zwei Gedankenmodelle. Nach Schwarz (2016, o. S., online) ist die Likert-Skala der Ordinalskala zugeordnet, da sich „keine Aussagen über die absoluten Abstände zwischen den Werten machen“ lassen. Im Gegensatz dazu geht Mittag (2016, S. 19) davon aus, dass eine Äquidistanz zwischen den einzelnen Stufen besteht und es somit möglich ist, mit der Likert-Skala

¹⁰⁸ ANOVA (analysis of variance) und MINQUE (minimum norm quadratic unbiased estimation)

„persönliche Einstellungen oder Empfindungen“ wie zum Beispiel „Leistungsmotivation“ zu messen.

Bei der vorliegenden Studie wurden die Schülerinnen und Schüler vor Testbeginn auf die Äquidistanz zwischen den einzelnen Auswahlmöglichkeiten hingewiesen.

Zusätzlich waren die Antwortmöglichkeiten

sehr zutreffend (++)

zutreffend (+)

weder noch (0)

kaum zutreffend (-)

nicht zutreffend (--)

mit den Attributen (++) , (+) , (0) , (-) , (--) versehen. Mit dieser Annahme der gleichen Abstände zwischen den Antwortmöglichkeiten wird bei „Daten, die anhand einer Likert-Skala gewonnen wurden, die Anwendung von Operationen gerechtfertigt, welche eigentlich nur für metrisch skalierte Daten zulässig sind, z. B. die Mittelwertbildung.“ (Mittag, 2016, S. 19)

Nach Bortz und Döring (2016, S. 269) ist „[d]ie Likert-Skala [...] die mit großem Abstand am häufigsten in den Sozialwissenschaften verwendete psychometrische Skala, die mit mehreren Indikatoren ein bestimmtes Konstrukt auf Intervallskalenniveau erfassen soll.“ Bortz und Döring (ebd., S. 269) stehen jedenfalls auf dem Standpunkt, dass „[d]er Likert-Skala [...] üblicherweise Intervallskalenniveau, manchmal auch nur Ordinalskalenniveau zugeschrieben [wird].“ Nach Sterzel (2011, S. 228) wird allgemein angenommen, dass Likert-Skalen den Anforderungen an intervallskalierte Daten genügen. „[D]a der Anfangs- und Endpunkt mit einer negativen beziehungsweise positiven Aussage versehen sind, kann die Likert-Skala von den Versuchspersonen als gleichbleibendes Kontinuum zwischen diesen Punkten – und somit Intervallskala – wahrgenommen werden.“ (Sterzel, 2011, S. 228)

Raithel, J. (2006, S. 40) führt als einziges „Beispiel für eine Intervallskala: [die] Likert-Skala [...]“ an.

Nach Baur (2008, S. 280) fordern Statistiker, die Likert-Skala als ordinalskaliert zu interpretieren, „während zahlreiche empirische Sozialforscher eher der Ansicht sind, dass man solche Variablen [...] als intervallskaliert interpretieren darf.“

In der gegenständlichen Arbeit wird die Likert-Skala auf Grund der Vorinformationen an die Schülerinnen und Schüler und der schriftlichen Kennzeichnung (++) , (+) , (0) ,

(-), (--) als äquidistant angenommen und in den Berechnungen auch als intervallskaliert behandelt.

Zusätzlich wird auch hier zur Qualitätssteigerung, wie bereits in Kapitel 5.2 betont, der Kruskal-Wallis-Test (H-Test) herangezogen und Ergebnisse nur dann als signifikant erachtet, wenn auch dieser Test anschlügt. Damit ist die Forderung nach dem Skalenniveau eindeutig erfüllt, denn die abhängige Variable muss mindestens ordinalskaliert sein und es muss eine unabhängige Variable für vergleichende Gruppen vorliegen (vgl. Schwarz, 2016, o. S, online).

5.4 Alpha-Faktorenanalyse

In der sozialwissenschaftlichen Forschung existieren viele verschiedene Arten von Faktorenanalysen. „Es gibt nicht ‘die’, sondern viele verschiedene Faktorenanalysen.“ (Schendera, 2010, S. 179) Im vorliegenden Fall wurden die Items, welche bereits auf Reliabilität geprüft wurden, aus bestehenden Studien entnommen und nur geringfügig adaptiert. Aus diesem Grund wird nicht wie bei explorativen Faktorenanalysen die Datenreduktion in den Fokus gestellt (vgl. Bühl, 2016, S. 600), sondern die interne Konsistenz der Items über den Cronbachs Alpha-Koeffizienten für die vorliegende Arbeit nochmals verifiziert (vgl. Bortz & Döring, 2016, S. 271; Bortz & Schuster, 2010, S. 429). Außerdem lässt eine hohe Item-Interkorrelation auch auf eine gesicherte Reliabilität schließen (vgl. ebd., S. 271). Die Items der gegenständlichen Studie weisen zur jeweiligen Forschungshypothese mindestens einen Cronbachs $\alpha > 0,7$ auf, somit mussten keine Items eliminiert werden. Wie von Bortz und Döring (2016, S. 469) gefordert, wurde der Cronbachs Alpha-Koeffizient für jede Subskala extra bestimmt. Dabei zeigte sich, dass die Items der Hypothesen 4 und 5 nach entsprechender Umcodierung zu einer Subskala zusammengefasst werden dürfen.

Blanz (2015, S. 245f.) gibt eine Orientierung zur Interpretation des Cronbachs Alpha hinsichtlich der Reliabilität: Demnach sind Werte $> 0,9$ als exzellent; $> 0,8$ als gut; $> 0,7$ als akzeptabel; $> 0,6$ als fragwürdig; $> 0,5$ als schlecht und alles darunter als inakzeptabel zu bewerten.

Statistische Auswertung

Hier eine Übersicht der Reliabilitätswerte der einzelnen Hypothesen:

Hypothese	Cronbachs Alpha	Anzahl der Items
1. Intrinsische Regulation	.822	4
2. Aktuelle Motivation - Komponente Herausforderung	.703	4
3. Aktuelle Motivation - Komponente Interesse	.821	5
4. + 5. Aktuelle Motivation - Komponente Misserfolgsbefürchtung	.815	10
6. Flow-Erleben	.820	5
7. Autonomie erleben	.748	2
8. Kompetenzerleben	.802	3

Tabelle 10: Reliabilitätsstatistik

6 Ergebnisse und Diskussion

In diesem Kapitel wird die Auswertung der Daten zu den einzelnen Forschungshypothesen näher beleuchtet. Es werden Signifikanztests durchgeführt und bei Bedarf auf Effektstärke getestet. Dies wird in der Varianzanalyse oftmals mit dem partiellen Eta-Quadrat (η^2) erklärt. „In der Forschungspraxis noch wichtiger sind [jedoch] [...] die auf der Varianzanalyse basierenden Varianzaufklärungsmaße, von denen das partielle Eta-Quadrat mit Abstand am häufigsten zum Einsatz kommt.“ (Bortz & Döring, 2016, S. 817) Das Eta-Quadrat (η^2) wird aus den Fehlerquadratsummen berechnet und gibt an, „wie groß der Anteil der Effektvariation an der Summe aus dieser und der Fehlervariation ist.“ (Bühner & Ziegler, 2009, S. 363)

$$\text{Es gilt: } \eta^2 = \frac{QS_{\text{Effekt}}}{QS_{\text{Effekt}} + QS_{\text{Res}}} \text{ (vgl. Vogt, 2010, S. 32)}$$

(QS_{Effekt} Quadratsumme des Effekts,

QS_{Res} Quadratsumme des Residuums = Fehlervariation)

Das Effektmaß Eta-Quadrat gibt also an, welcher Anteil der Varianz der abhängigen Variablen (in vorliegendem Fall z. B. Motivationslage im Physikunterricht) durch die unabhängige Variable (z. B. Ersterhebung / reales / virtuelles Experiment) erklärt wird. Ein Wert von Null würde bedeuten, dass es in Bezug auf die Motivation keinen Unterschied zwischen Ersterhebung, realem und virtuellem Experiment gibt (vgl. Koch & Ellinger, 2015, S. 170). „Ein Eta-Quadrat von 0,06 bedeutet, dass 6% der Gesamtvarianz durch Unterschiede zwischen den Gruppen aufgeklärt werden.“ (ebd., S. 170)

Effektinterpretation: (vgl. Bortz & Döring, 2016, S. 820)

Kleiner Effekt	$0,01 < \eta^2 < 0,06$
Mittlerer Effekt	$0,06 \leq \eta^2 < 0,14$
Großer Effekt	$\eta^2 \geq 0,14$

Tabelle 11: Effektstärke Interpretationsmaß

In den nun folgenden Überprüfungen der Forschungshypothesen stellt der Autor der vorliegenden Studie immer zuerst die geschlechtsspezifischen und dann die schulstufenabhängigen Unterschiede dar. Dabei wird sowohl auf den Unterschied zwischen realem und virtuellem Experiment als auch auf die Unterschiede zur Ersterhebung eingegangen. Die Darstellung erfolgt zunächst mithilfe von gestapelten Balkendiagrammen.

Exkurs:

Heiberger und Holland (2015, S. 567) empfehlen für die Darstellung von Daten, die aus einer Likert-Skala gewonnen werden, ausdrücklich die gestapelten Balkendiagramme.

We recommend diverging stacked bar charts as the primary graphical display technique for Likert and related scales. (ebd., S. 567)

Diese Form der Darstellung ermöglicht einen schnellen, nach Prozentsätzen gestaffelten Überblick über die einzelnen Teilwerte (vgl. Knaflitz, 2017, S. 104; Fabri, 2016, S. 76), wobei negative Werte links und zustimmende Werte rechts angeordnet sein sollen – und in der Mitte neutrale Werte Platz finden sollten. Dies wurde im vorliegenden Fall ebenso umgesetzt wie die empfohlene farbliche Abstufung (Robbins & Heiberger, 2011, S. 1060).

Our recommended presentation [...] places all results in a single graphical presentation, [...] [the] diverging stacked bar chart. The percentages of respondents who agree with the statement are shown to the right of the zero line; the percentages who disagree are shown to the left. The percentages for respondents who neither agree nor disagree are split down the middle and are shown in a neutral color. (ebd., S. 1060)

Heiberger und Holland (ebd., S. 567) gehen dezidiert auf die fünfstufige Likert-Skala ein ("strongly disagree, disagree, no opinion, agree, strongly agree") und weisen ebenfalls auf die Vorteile der bipolaren Darstellung hin.

Likert-type scales may use other sequences of bipolar adjectives: 'not important' to 'very important'; 'evil' to 'good'. (ebd., S. 567)

In der vorliegenden Arbeit wird auf Grund dieser Empfehlungen von sozialwissenschaftlicher Seite die Darstellungsform des gestapelten Balkendiagramms gewählt. Sowohl die prozentgenaue Einteilung basierend auf der fünfstufigen Likert-Skala als auch der bipolare Überblick (Ablehnung oder Zustimmung) sind auf diese Weise gut ablesbar.

Im Unterschied zum gestapelten Balkendiagramm nimmt der darauffolgende Boxplot Bezug auf den Median und gibt einen Überblick über die Häufigkeitsverteilung der Erhebungswerte in den einzelnen Schulstufen zu den verschiedenen Testzeitpunkten (vgl. Degen & Lorscheid, 2005, S. 31).

Danach werden die Gesamtwerte zur jeweiligen Forschungshypothese unabhängig vom Geschlecht mittels Liniendiagramm abgebildet und so die Entwicklung der Teilaspekte der Motivation während der Schullaufbahn der Sekundarstufe I dokumentiert.

Um die Forschungsergebnisse weiter abzusichern (vgl. Barth, 2009, S. 132; Strauß, 2016, S. 210; Neubert, 2016, S. 201; Fischer, 2003, S. 105; Ruf, 2014, S. 163), wird zur Qualitätssteigerung bei jeder Hypothese auch der nonparametrische Kruskal-Wallis-Test durchgeführt und die Alternativhypothese erst dann angenommen, wenn sowohl der non- als auch der parametrische Test kongruent sind. Das Resultat dieses Tests wird wieder in Form eines Boxplots veranschaulicht.

Danach folgt eine Tabelle mit den jeweiligen Daten für Gesamtanzahl, fehlend, gültige n, Mittelwert, Standardabweichung und Varianz. Durch diese Angabe soll es möglich sein, Unterschiede zwischen den Schulklassen, aber auch bezüglich des Testzeitpunkts (Ersterhebung, Realversuch, virtuelles Experiment) besser nachvollziehen zu können. Ähnlich den Liniendiagrammen wird in dieser Tabelle die Farbe Blau für die Ersterhebung, die Farbe Grün für den Realversuch und die Farbe Rot für das virtuelle Experiment verwendet.

Die Werte für die Ordinaten sind für alle Diagramme wie folgt zu verstehen:

sehr zutreffend (++)	5
zutreffend (+)	4
weder noch (0)	3
kaum zutreffend (-)	2
nicht zutreffend (--)	1

Tabelle 12: Zuordnung Likert-Skala

Im Anhang werden zu jedem Hypothesentest alle einzelnen Items nochmals grafisch dargestellt. Dieses Mehrfach-Linien-Diagramm gibt den Mittelwert jedes einzelnen Items bezogen auf Geschlecht, Schulklasse und Intervention (bzw. Ersterhebung, Realversuch, virtuelles Experiment) wieder und ist aufgrund der vielen Informationen im Querformat zu betrachten.

Ergänzend zu den Varianzanalysen hat der Autor – wie auch von Rasch, Frieze, Hofmann und Naumann (2010, S. 46) präferiert – Post-hoc-Tests nach Tukey durchgeführt, da diese die Möglichkeit bieten, „einzelne Gruppen einer Untersuchung paarweise miteinander zu vergleichen, ohne dass der α -Fehler kumuliert oder die Teststärke abnimmt.“ (ebd., S. 46) Dieser Test überprüft die Signifikanz von zwei Mittelwerten innerhalb zweier Gruppen. Die Entscheidung für diesen Post-hoc-Test ist aus mehreren Gründen sinnvoll: „Einerseits ist [d]ie Teststärke des Tukey HSD-Tests [...] mindestens so hoch wie die Teststärke des getesteten Haupteffekts in der Varianzanalyse.“ (Rasch et al., 2010, S. 46) Andererseits liegt der Berechnungsmethode die „Honest Significant Difference“ zugrunde (vgl. ebd., S. 46), welche die Standardabweichung innerhalb der Gruppe zur Voraussetzung hat. Dies passt wiederum optimal zu der in der vorliegenden Studie gewählten Art der Stichprobe (vgl. Kapitel 5.1).

6.1 Hypothese 1, Intrinsische Regulation

Wie bereits erwähnt, greift bei dieser Studie das zentrale Grenzwerttheorem (vgl. Maaß et al., 1983, S. 23; Benesch, 2012, S. 209; Field, 2009, S. 45; Stevens 2007, S. 57), somit ist von einer Normalverteilung auszugehen und die Varianzanalyse das bevorzugte Interpretationsmittel.

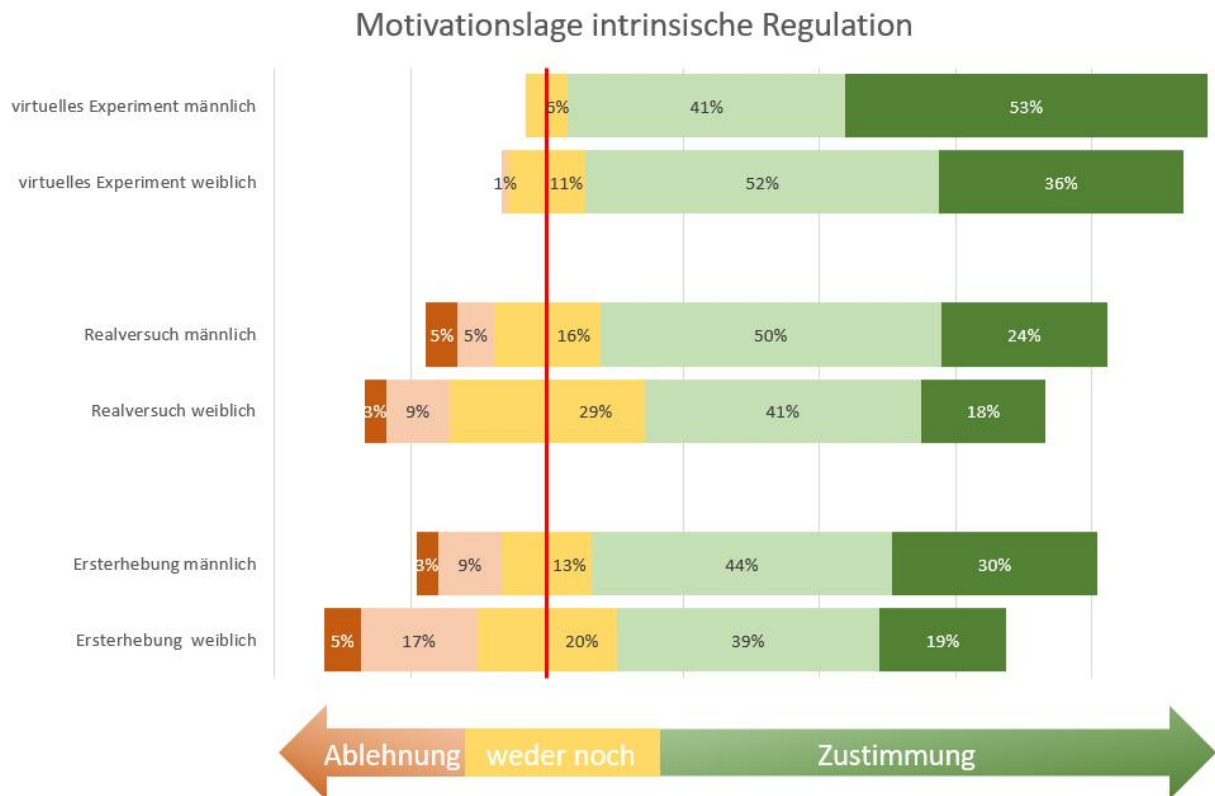
Bezüglich intrinsischer Regulation zeigt sich bei der Ersterhebung ein signifikanter Unterschied ($F(1,367) = 10.888$, $p < .001$, $\eta^2 = .029$) zwischen beiden Geschlechtern. Die männlichen Teilnehmer weisen bei der Erstbefragung bezüglich der intrinsischen Regulation, also was die Freude bei der Ausführung von physikalischen Versuchen betrifft, höhere Werte auf als die Mädchen.

Auch beim realen Experiment ($F(1,394) = 6.9518$, $p = 0.009$, $\eta^2 = 0.017$) ergibt sich ein sehr ähnliches Bild.

Die Überprüfung der Varianzhomogenität zeigt für das virtuelle Experiment, dass der Levene-Test ($p = 0.019$) keine Gleichheit der Varianzen annehmen lässt, daher erfolgt die Berechnung mit dem Welch-Test. Auch hier gibt es einen höchst signifikanten Unterschied zwischen den weiblichen und männlichen Probandinnen und Probanden ($F(2,224) = 57.702$, $p < 0.001$).

Dies bedeutet also, dass sowohl reales als auch virtuelles Experiment bei Buben eine höhere intrinsische Regulation bewirkt als bei Mädchen.

Ergebnisse und Diskussion



■ eindeutig nicht zutreffend, ■ nicht zutreffend, ■ weder noch, ■ zutreffend, ■ eindeutig zutreffend

Die Prozentangaben geben die arithmetischen Mittelwerte der Dimension „intrinsische Regulation“ wieder.

Abbildung 46: Motivationslage intrinsische Regulation nach Geschlecht

Zwischen den einzelnen Schulklassen der Sekundarstufe I besteht ein signifikanter Unterschied, leider sinkt mit jeder höheren Klasse die intrinsische Regulation bei der Durchführung physikalischer Versuche. Dieses Phänomen tritt bis auf eine Ausnahme, nämlich beim virtuellen Experiment in der 3. Klasse, in jeder Testphase (erste Messung, Realversuch und virtuelles Experiment) mit sehr hoher Effektstärke $\eta^2 = .263$ ($F(2,366) = 65.434$, $p < .001$) auf. Beim Realversuch wird die empfundene Versuchsfreude mit jedem Schuljahr höchst signifikant ($F(2,393) = 15.598$, $p < .001$, $\eta^2 = .074$) weniger.¹⁰⁹ Am besten schneidet der virtuelle Versuch ab, wenngleich auch hier die Freude von der 3. zur 4. Klasse höchst signifikant abnimmt¹¹⁰.

¹⁰⁹ Vergleich von 2. mit 4. Klasse

¹¹⁰ Post-hoc-Test (Tukey-B) zeigt, dass Schülerinnen und Schüler der 3. Klassen ($M=4.32$, $SD .59$) deutlich höhere Werte angaben als Schülerinnen und Schüler der 4. Klassen ($M=4.03$, $SD .65$), $p < .001$

Ergebnisse und Diskussion

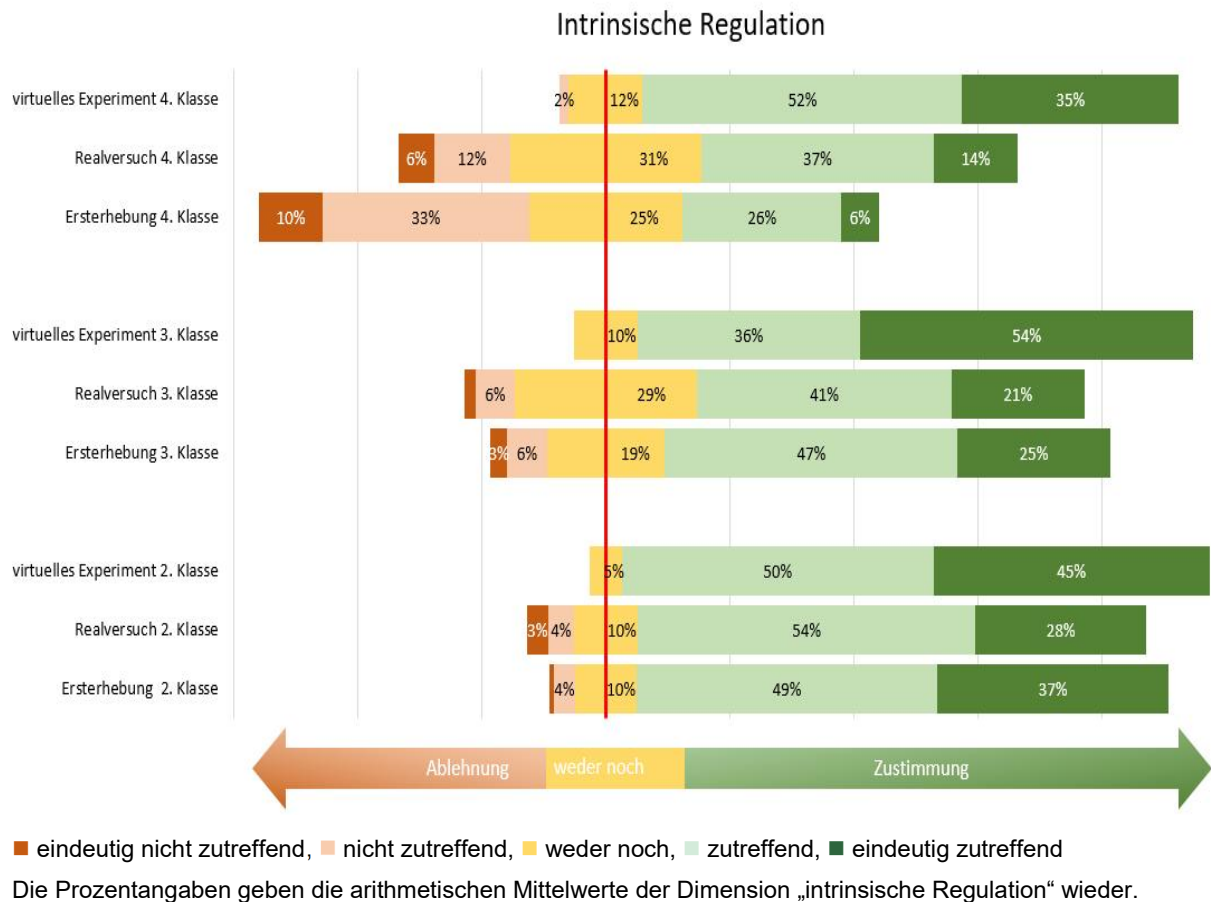


Abbildung 47: Intrinsische Regulation nach Schulstufen

Exkurs Boxplot (Schachteldiagramm): „Dieses Diagramm stellt die Form der Häufigkeitsverteilung unter Verwendung bestimmter Quantile dar. Der Boxplot besteht aus einer Linie, die den Wertebereich der Häufigkeitsverteilung darstellt und vom minimalen bis zum maximalen Wert reicht. Diese Linie wird im Zentrum der Verteilung von einer Box überlagert, die den Bereich vom unteren bis zum oberen Quartil darstellt, und die an der Stelle des Medians nochmals durch eine [...] Linie unterteilt ist. In der Box liegen somit die mittleren 50 Prozent der Daten. Der Boxplot gibt einen schnellen, groben Überblick über die Form einer Häufigkeitsverteilung und ist – da er im Gegensatz etwa zum Histogramm nur eine Dimension beansprucht – vor allem zum Vergleich verschiedener Häufigkeitsverteilungen geeignet. Die zugehörigen Boxplots werden dann in einer Grafik neben- bzw. untereinander gezeichnet.“ (Degen & Lorscheid, 2005, S. 31)

Um die Häufigkeitsverteilung des soeben erklärten Diagramms einsehen zu können, wird die Grafik zur intrinsischen Regulation nochmals in Form eines gruppierten Boxplots dargestellt:

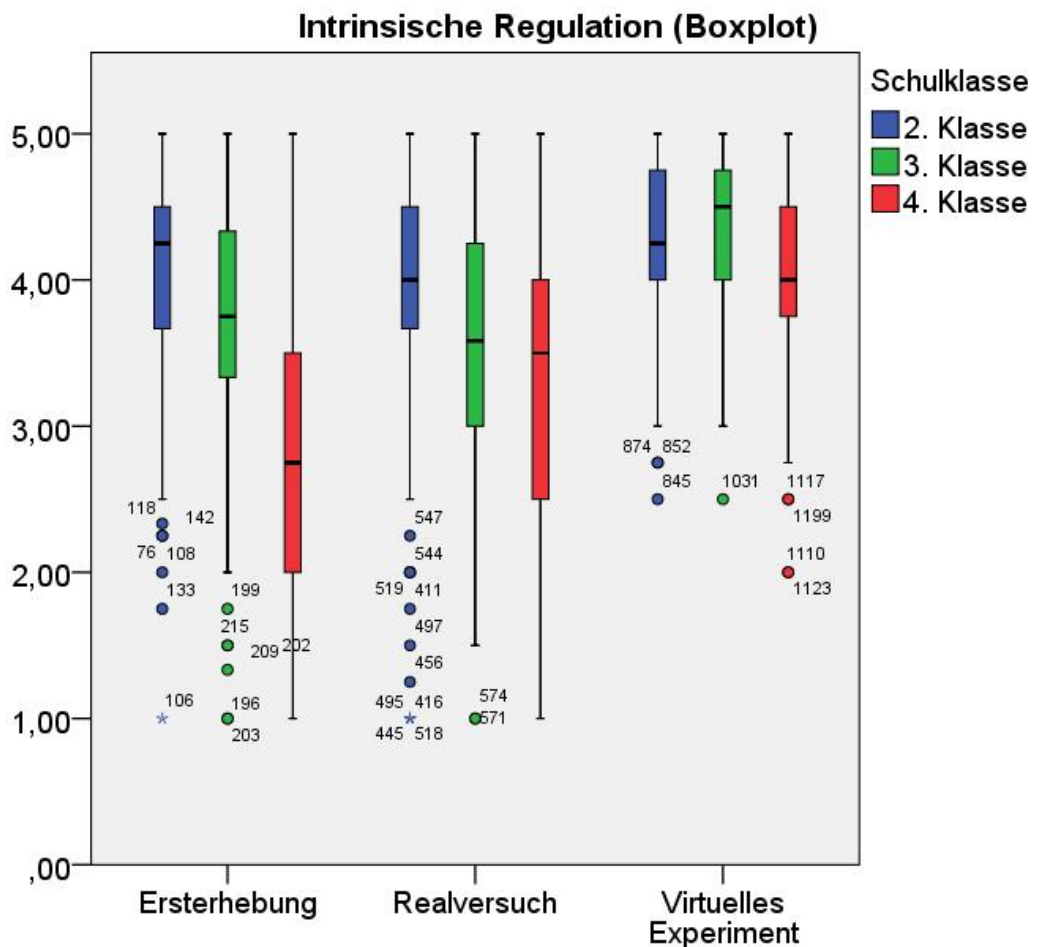


Abbildung 48: Intrinsische Regulation nach Schulklassen, Boxplot

Betrachtet man die gesamte Schullaufbahn der Sekundarstufe I, so zeigt sich, dass sich die intrinsische Motivationslage zwischen Ersterhebung und Realversuch nicht signifikant unterscheidet ($p = .875$)¹¹¹.

Im Gegensatz dazu lässt sich beim virtuellen Experiment ein höchst signifikanter Unterschied ($p < .001$)¹¹² im Vergleich zum Realversuch erkennen.

Exkurs: Der empirisch erhaltene Grenzwert von 14.181¹¹³ überschreitet den kritischen F-Wert (3.004) deutlich. Dies bedeutet – wie soeben angeführt – einen signifikanten Unterschied zwischen Realversuch und virtuellem Experiment. Das folgende

¹¹¹ Tukey Post-hoc-Test (-.0293, 95%-CI[-.1690, .1103])

¹¹² Tukey Post-hoc-Test (.6370, 95%-CI[-.5000, .7740])

¹¹³ (Erstversuch / Realversuch / virtuelles Experiment)* Klasse

Diagramm veranschaulicht, dass die Nullhypothese in diesem Fall abgelehnt wird, da $F_{\text{emp}}^{114} > F_{\text{krit}}^{115}$ ist (vgl. Bühner & Ziegler, 2009, S. 507). Die Grafik wurde mit dem Online-Tool scistatcalc.blogspot.co.at/2013/11/online-critical-f-value-calculator.html erstellt und wird nur einmalig zum besseren Verständnis in dieser Arbeit verwendet – weitere Darstellungen, also für jede einzelne Testung, würden den Rahmen dieser Arbeit sprengen.

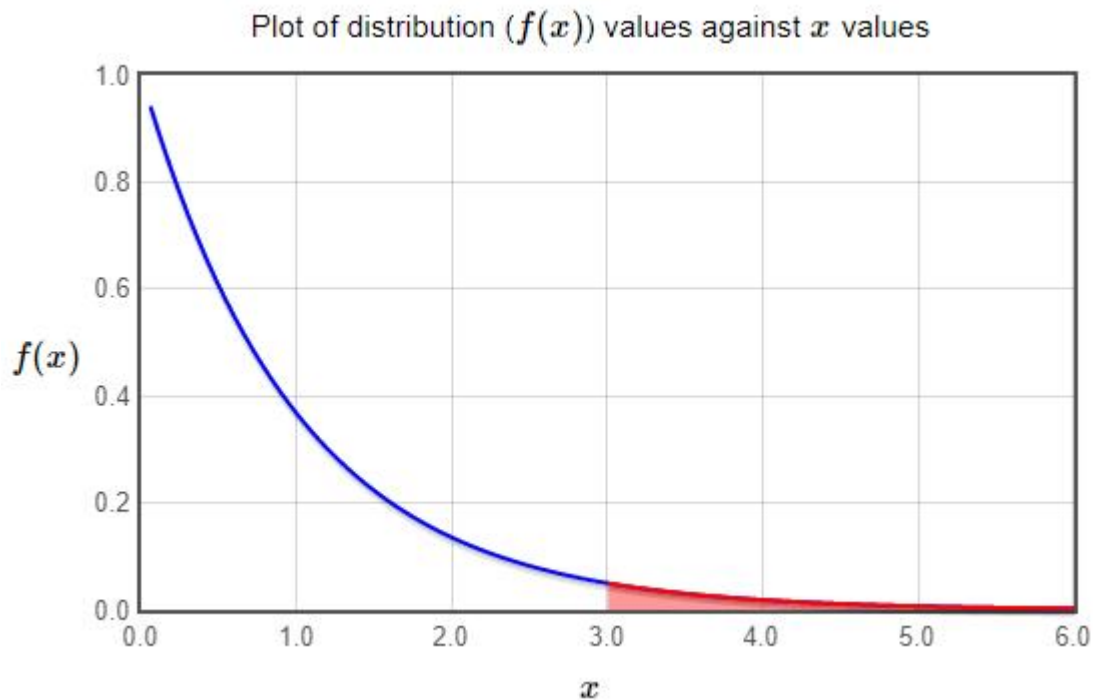


Abbildung 49: Kritischer und empirischer F-Wert

Durch das folgende Profildigramm werden die Testergebnisse für die Hypothese 1 in Bezug auf Schulstufe und Testzeitpunkt überlagert dargestellt:

¹¹⁴ Empirischer F-Wert

¹¹⁵ Kritischer F-Wert

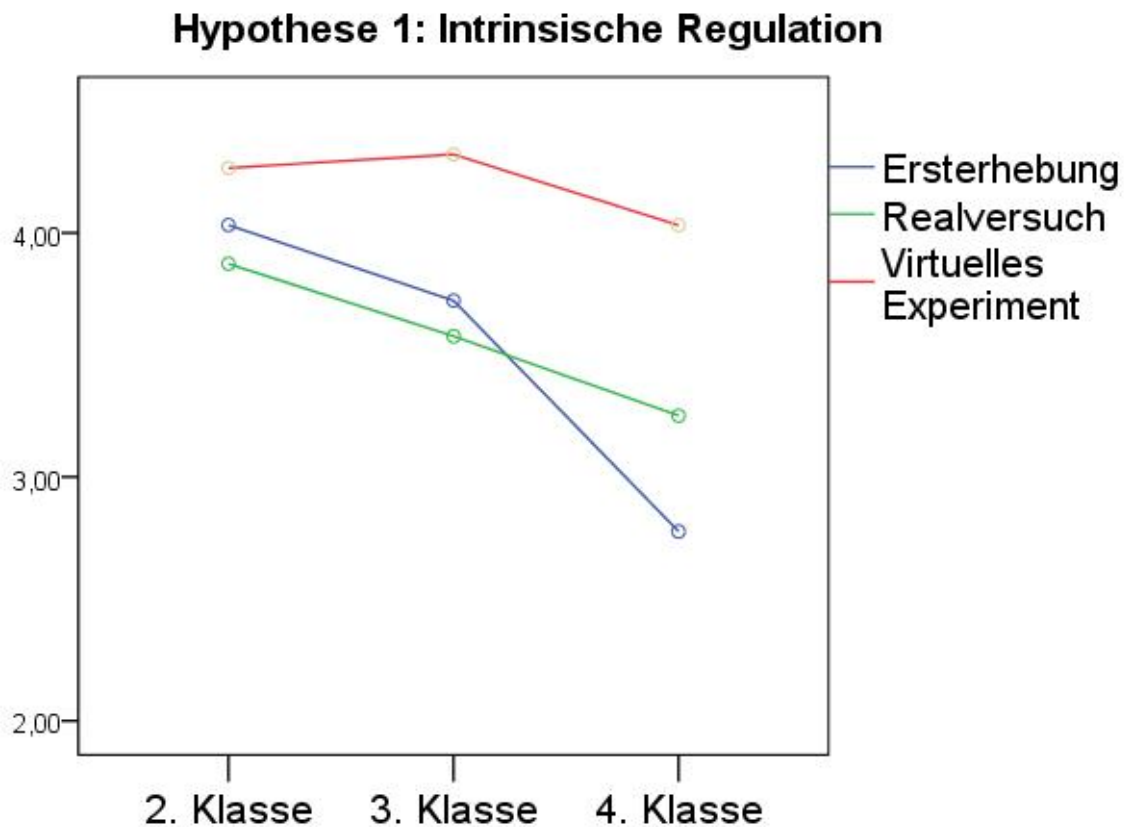


Abbildung 50: Profildigramm zur intrinsischen Regulation

Zur weiteren Qualitätssteigerung wird zusätzlich zur Varianzanalyse ein nonparametrischer Test, der Kruskal-Wallis-Test, durchgeführt (vgl. Barth, 2009, S. 132; Strauß, 2016, S. 210; Neubert, 2016, S. 201; Fischer, 2003, S. 105; Ruf, 2014, S. 163).

Auch dieser zeigt eindeutig, dass die Nullhypothese abzulehnen ist.

Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
Die Verteilung von Hypothese 1 (intrinsische Regulation) ist über Kategorien von Ersterhebung, Realversuch, virtueller Versuch gleich.	Kruskal-Wallis-Test	.000	Nullhypothese ablehnen

Tabelle 13: Nichtparametrischer Hypothesentest, Intrinsische Regulation

Sehr eindrucksvoll sind die drei daraus folgenden Boxplot-Grafiken. Sie veranschaulichen, dass zwischen Ersterhebung und Realversuch optisch nur kleine

Unterschiede zu erkennen sind, das virtuelle Experiment aber deutlich höhere Werte aufweist.

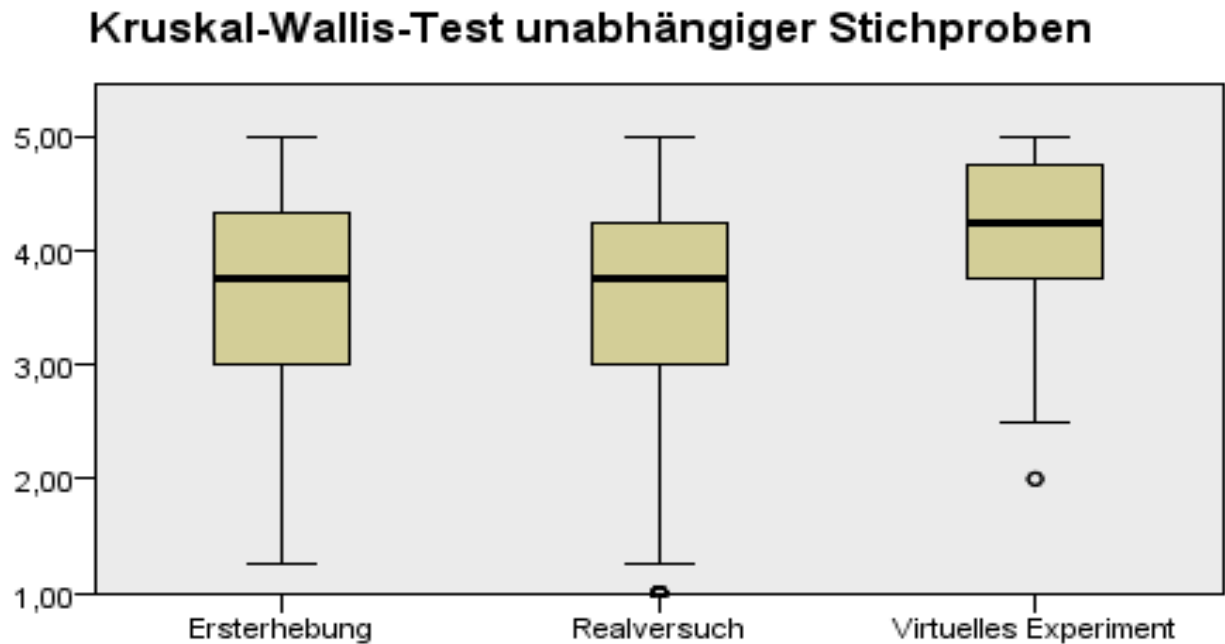


Abbildung 51: Boxplotvergleich intrinsische Regulation

Somit kann die Alternativhypothese „Im Vergleich zu real durchgeführten Schülerinnen- und Schülerversuchen im Physikunterricht der Sekundarstufe I steigert sich die intrinsische Regulation der Lernenden bei der Durchführung virtueller Versuche“ höchst signifikant bestätigt werden.

Ergebnisse und Diskussion

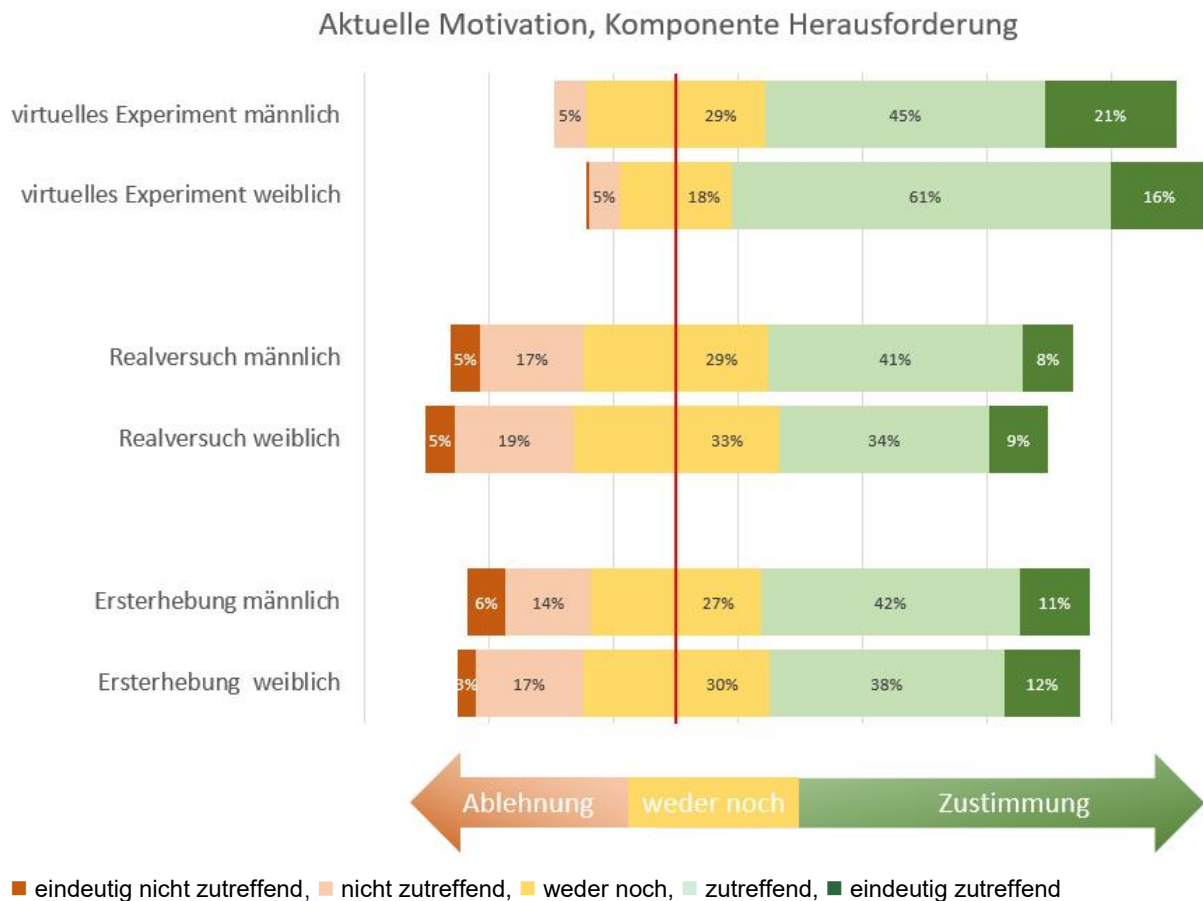
Wie in der Einleitung dieses Kapitels erläutert, werden nach der Interpretation des Hypothesentests die deskriptiv relevanten Daten tabellarisch angeführt:

Hypothese 1: Intrinsische Regulation							
		Gesamt	Fehlend	\bar{x}	gültig	σ	σ^2
Ersterhebung	2. Klasse	143	1	4.03	142	.75	.56
	3. Klasse	119	9	3.72	110	.89	.79
	4. Klasse	136	19	2.78	117	1.07	1.14
Realversuch	2. Klasse	150	5	3.87	145	.89	.80
	3. Klasse	115	3	3.58	112	.90	.82
	4. Klasse	141	2	3.25	139	1.01	1.02
Virtuelles Experiment	2. Klasse	155	0	4.27	155	.53	.28
	3. Klasse	117	0	4.32	117	.59	.35
	4. Klasse	135	9	4.03	126	.65	.43

Tabelle 14: Deskriptive Statistik zu Hypothese 1

6.2 Hypothese 2, aktuelle Motivation – Komponente Herausforderung

Bezüglich der Motivationskomponente Herausforderung besteht weder innerhalb der Gruppe Ersterhebung ($F(1,373) = .003$, $p = .954$, $\eta^2 = .000$) noch beim Realversuch ($F(1,398) = 1.508$, $p = .220$, $\eta^2 = .004$) noch beim virtuellen Experiment ein signifikanter Unterschied zwischen Mädchen und Jungen ($F(1,396) = .025$, $p = .874$, $\eta^2 = .000$)¹¹⁶.



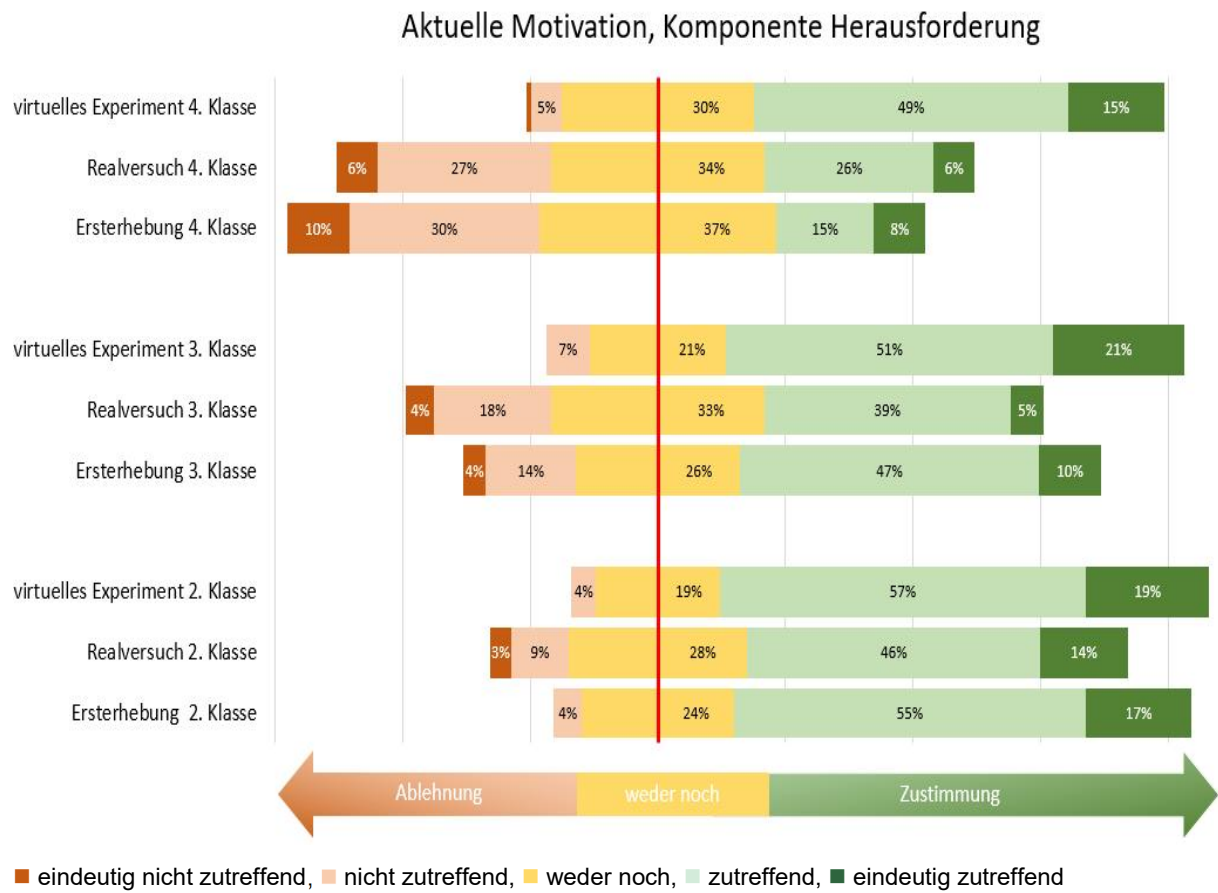
Die Prozentangaben geben die arithmetischen Mittelwerte der Dimension „Motivation-Herausforderung“ wieder.

Abbildung 52: Motivationslage, aktuelle Motivation, Komponente Herausforderung nach Geschlecht

Die folgenden Grafiken zeigen die Auswertung nach Schulklassen sowohl als gestapeltes Balkendiagramm als auch in Form von Boxplots. Zusätzlich wird nach Ersterhebung, Realversuch und virtuellem Experiment unterschieden.

¹¹⁶ Virtueller Versuch: Testmethode Welch-Test, da Levene-Test ($p = .019$) signifikant wurde.

Ergebnisse und Diskussion



Die Prozentangaben geben die arithmetischen Mittelwerte der Dimension „Motivation-Herausforderung“ wieder.

Abbildung 53: Aktuelle Motivation (Komponente Herausforderung) nach Schulstufen

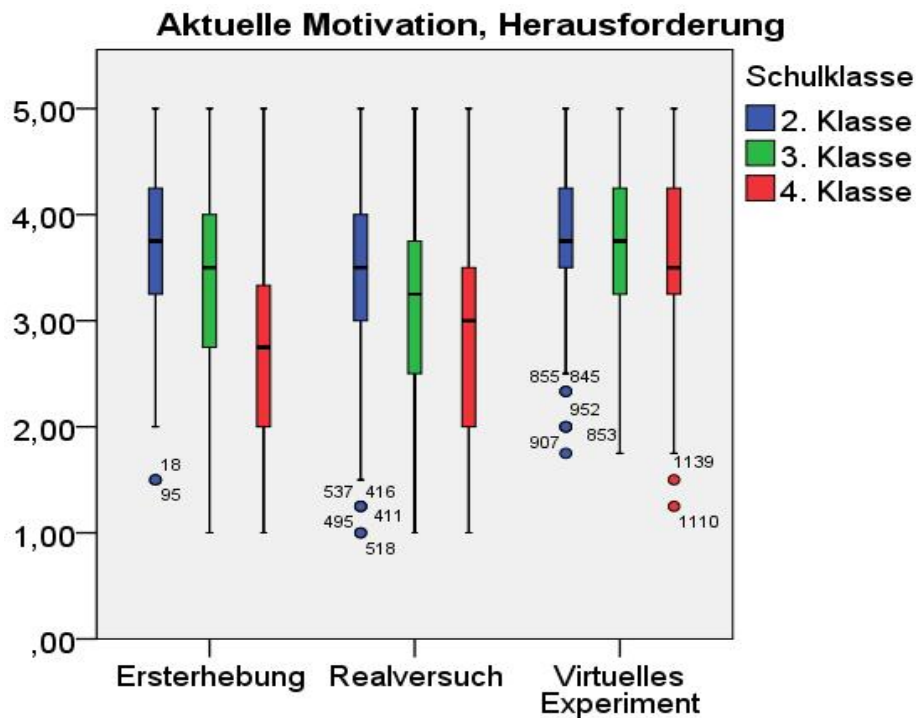


Abbildung 54: Aktuelle Motivation (Komponente Herausforderung) nach Schulklassen, Boxplot

Interessanterweise stellt sich heraus, dass es sowohl bei der Ersterhebung ($F(2,372) = 39.964$, $p < .001$, $\eta^2 = .177$) als auch beim Realversuch ($F(2,397) = 13.915$, $p < .001$, $\eta^2 = .066$) in jeder nächst höheren Schulklasse zu einem höchst signifikanten Rückgang der aktuellen Motivation (Komponente Herausforderung) kommt. Bei der Ersterhebung ist dieser Rückgang mit großer Effektstärke nachzuweisen, beim realen Versuch liegt eine mittlere Effektstärke vor.

Im Gegensatz dazu, zeigt sich beim virtuellen Experiment kein signifikanter Rückgang ($F(2,395) = 1.886$, $p = .153$, $\eta^2 = .009$) dieser Motivationskomponente.

Betrachtet man die gesamte Schullaufbahn der Sekundarstufe I, so zeigt sich bei der Komponente Herausforderung, dass zwischen dem Realversuch und der Ersterhebung ($p = .105$)¹¹⁷ kein signifikanter Unterschied auftritt. Das virtuelle Experiment wirkt sich dagegen höchst signifikant ($p < .001$)¹¹⁸ motivierender aus als das reale.

¹¹⁷ Tukey Post-hoc-Test (-.1250, 95%-CI[-.2693, .0193])

¹¹⁸ Tukey Post-hoc-Test (.5640, 95%-CI[.4219, .7061])

Folgendes Profildigramm soll diesen höchst signifikanten Unterschied nochmals verdeutlichen:

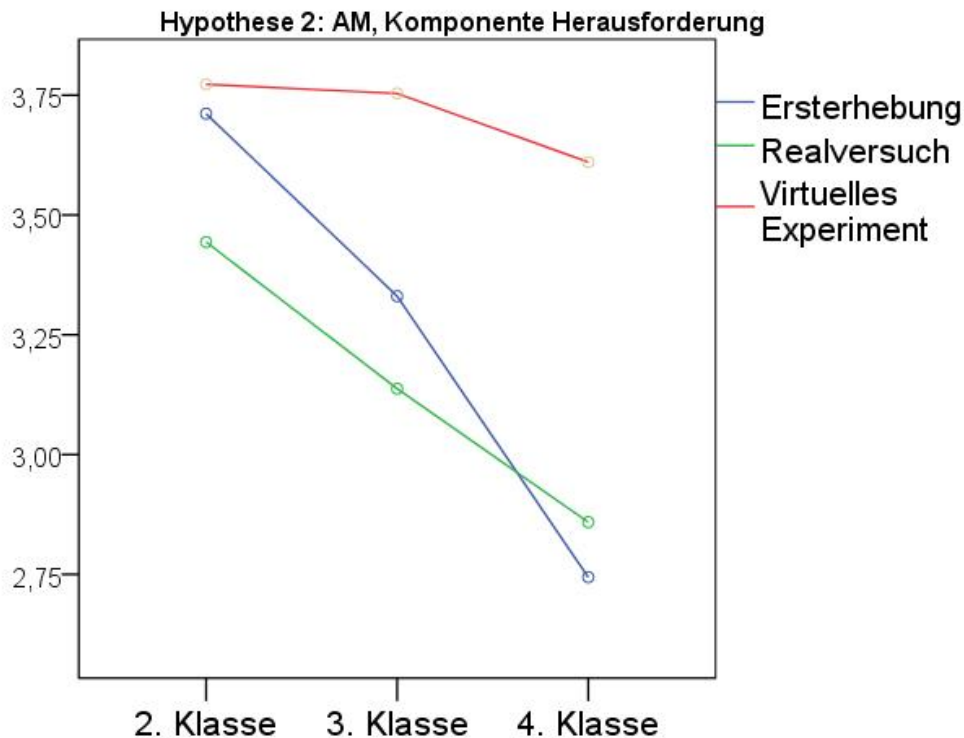


Abbildung 55: Profildigramm zur Komponente Herausforderung

Wie dieses Diagramm bereits vermuten lässt, gibt es in der zweiten Klasse zwischen der Ersterhebung und dem realen Experiment einen hoch signifikanten Unterschied ($F(2,372) = 39.964$, $p = .011$) zugunsten der Ersterhebung. Das virtuelle Experiment zeigt zwar einen geringfügig höheren Wert als die Ersterhebung an, signifikant ist die Differenz jedoch nicht ($p = .779$)¹¹⁹. In Bezug auf den Realversuch ist die aktuelle Motivation beim virtuellen Experiment bereits im ersten Jahr, in dem der Physikunterricht stattfindet, höchst signifikant höher.

In der 3. Klasse (zweites Jahr Physikunterricht) besteht zwischen Ersterhebung und Realversuch kein Unterschied ($p = .214$)¹²⁰. Das virtuelle Experiment zeigt deutlich höhere Motivationswerte ($p < .001$)¹²¹ als der Realversuch.

Für die 4. Klasse zeichnet sich ein gleiches Bild ab: Kein signifikanter Unterschied zwischen Erstbefragung und Realversuch ($p = .575$)¹²², jedoch ein höchst signifikanter

¹¹⁹ Tukey Post-hoc-Test (.0612, 95%-CI[-.1527, .2751])

¹²⁰ Tukey Post-hoc-Test (.1930, 95%-CI[-.0771, .4631])

¹²¹ Tukey Post-hoc-Test (.6161, 95%-CI[-.8839, -.3484])

¹²² Tukey Post-hoc-Test (-.1150, 95%-CI[-.3844, .1544])

Ergebnisse und Diskussion

Unterschied zum Realversuch zugunsten des virtuellen Experiments ($p < .001$) mit großer Effektstärke ($\eta^2 = .144$).

Zur Qualitätssteigerung wird – da auch hier auf Grund des Grenzwerttheorems parametrische Verfahren eingesetzt wurden – zusätzlich der Kruskal-Wallis-Test gerechnet. Auch aus diesem geht eindeutig hervor, dass die Nullhypothese abzulehnen ist.

Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
Die Verteilung von Hypothese 2 (AM, Herausforderung) ist über Kategorien von Ersterhebung, Realversuch, virtueller Versuch gleich.	Kruskal-Wallis-Test	.000	Nullhypothese ablehnen.

Tabelle 15: Nichtparametrischer Hypothesentest, Herausforderung

Dies lässt sich auch optisch durch folgende Boxplots veranschaulichen:

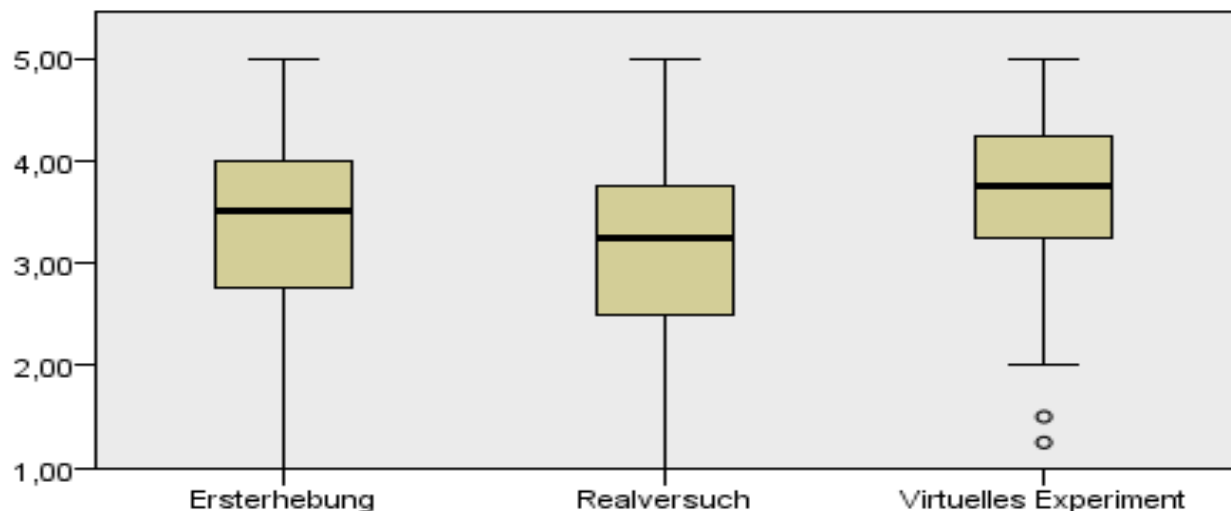


Abbildung 56: Boxplotvergleich Herausforderung

Somit kann für die Forschungshypothese 2, aktuelle Motivation – Komponente Herausforderung, die Alternativhypothese „Im Vergleich zu real durchgeführten Schülerinnen- und Schülerversuchen im Physikunterricht der Sekundarstufe I fühlen sich Lernende bei virtuell durchgeführten Versuchen stärker herausgefordert“ höchst signifikant bestätigt werden.

Tabelle 16: Deskriptive Statistiken zu Hypothese 2

Die tabellarisch angeführten deskriptiven Werte sollen die Übersicht komplettieren:

Hypothese 2: Aktuelle Motivation, Komponente Herausforderung							
		Gesamt	Fehlend	\bar{x}	gültig	σ	σ^2
Ersterhebung	2. Klasse	143	5	3.71	138	.71	.50
	3. Klasse	119	6	3.33	113	.91	.82
	4. Klasse	136	12	2.74	124	1.01	1.03
Realversuch	2. Klasse	150	4	3.44	146	.92	.85
	3. Klasse	115	1	3.14	114	.91	.83
	4. Klasse	141	1	3.86	140	.98	.96
Virtuelles Experiment	2. Klasse	155	0	3.77	155	.68	.47
	3. Klasse	117	0	3.75	117	.77	.60
	4. Klasse	135	9	3.61	126	.77	.60

Abbildung 57: Deskriptive Statistiken zu Hypothese 2

6.3 Hypothese 3, aktuelle Motivation – Komponente Interesse

Bei der Untersuchung der aktuellen Motivation bezogen auf das Interesse erreichen die männlichen Teilnehmer zu jedem Zeitpunkt höhere Werte als die weiblichen. Bei der Ersterhebung ist das Ergebnis jedoch nicht signifikant ($F(1,376) = 3.107$, $p = .079$, $\eta^2 = .008$). Anders sieht das beim Realversuch ($F(1,396) = 4.250$, $p = .040$, $\eta^2 = .11$) aus, denn hier gibt es einen signifikanten Unterschied, jedoch nur mit einer kleinen Effektstärke von $\eta^2 = .011$. Auch das virtuelle Experiment weckt bei den Knaben signifikant mehr Interesse ($F(1,396) = 5.209$, $p = .023$, $\eta^2 = .013$) als bei den Mädchen, aber auch hier nur mit sehr geringer Effektstärke von $\eta^2 = .013$). Die folgende Abbildung stellt diese Aussagen grafisch dar.

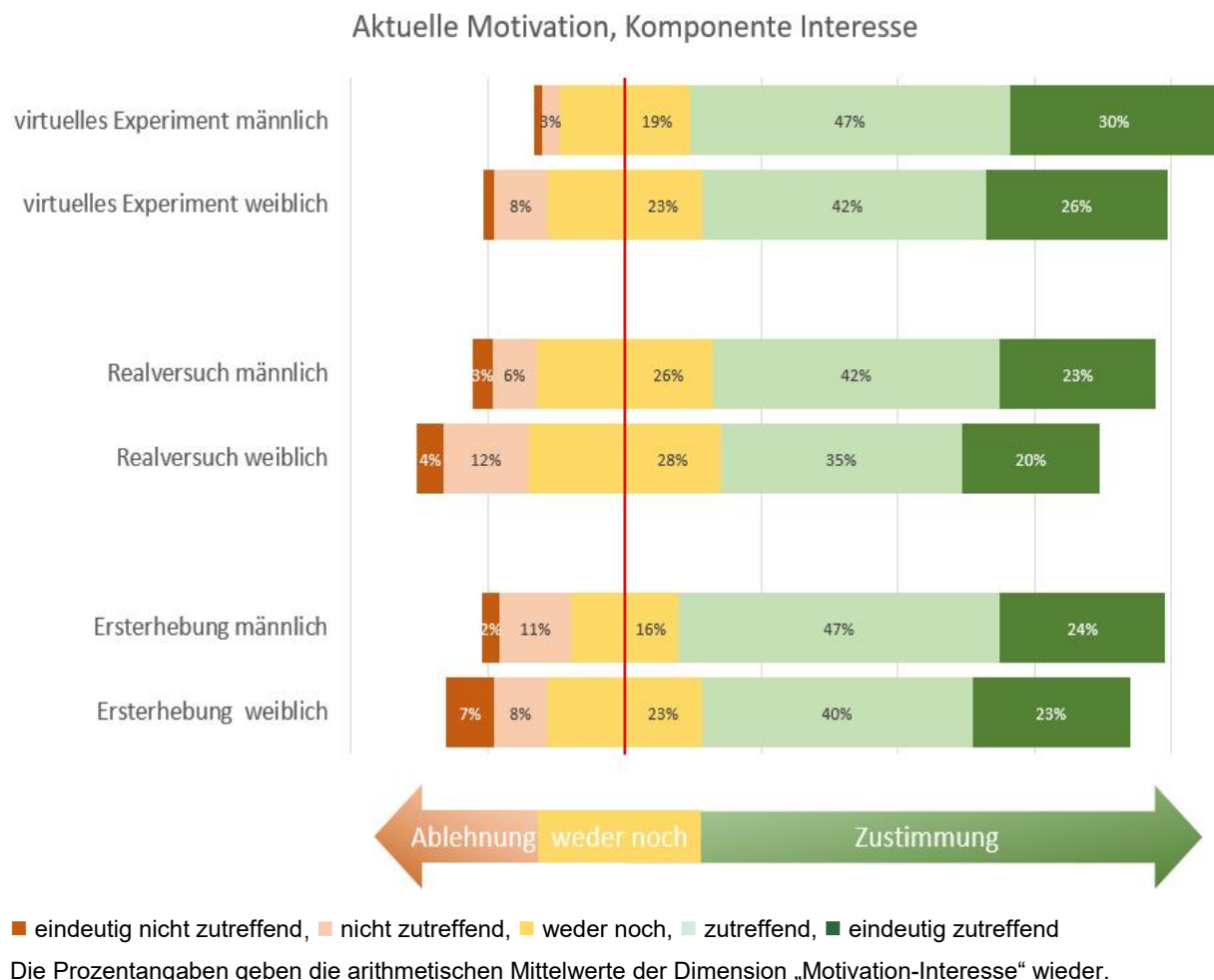
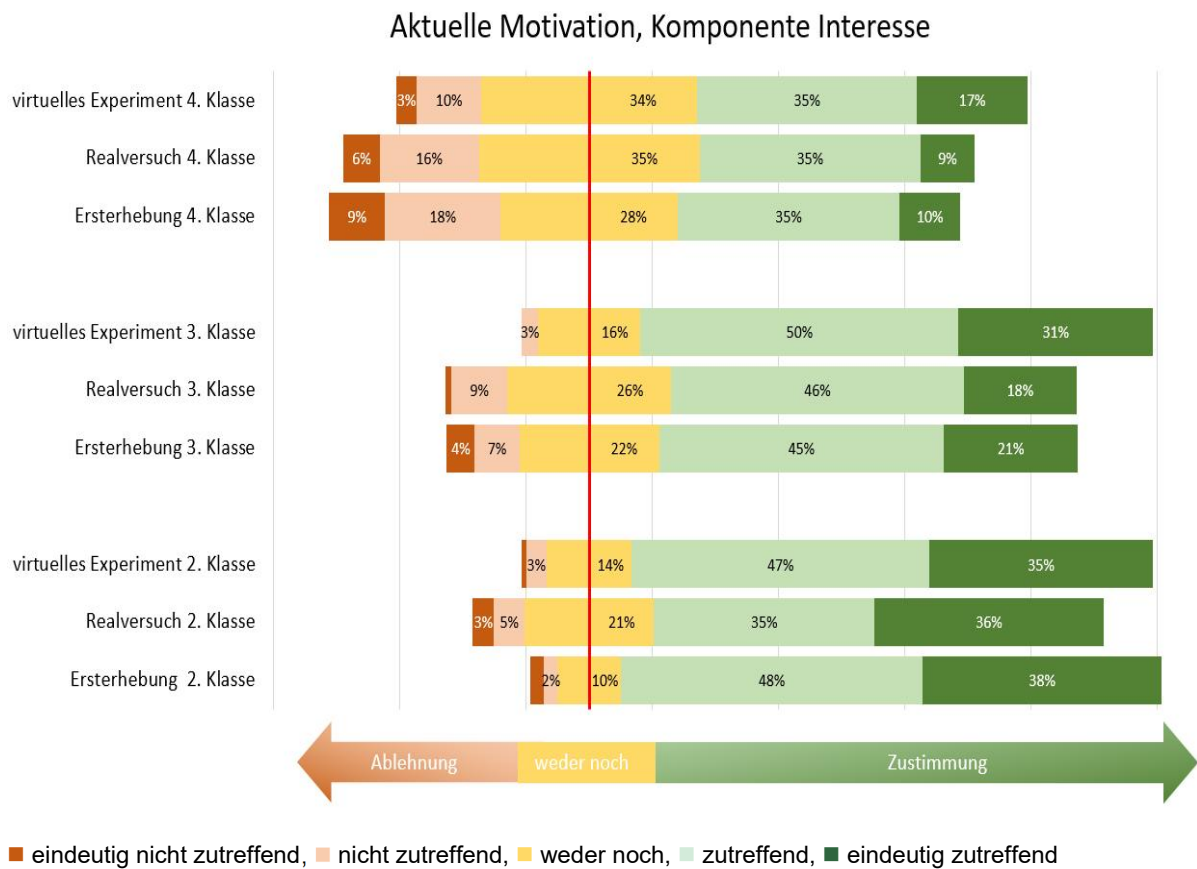


Abbildung 58: Motivationslage, aktuelle Motivation, Komponente Interesse nach Geschlecht

Ergebnisse und Diskussion

Die folgenden Abbildungen geben die Verteilung der Daten nach Schulklassen und Versuchsart in grafischer Form wieder:



Die Prozentangaben geben die arithmetischen Mittelwerte der Dimension „Motivation-Interesse“ wieder.

Abbildung 59: Aktuelle Motivation (Komponente Interesse) nach Schulstufen

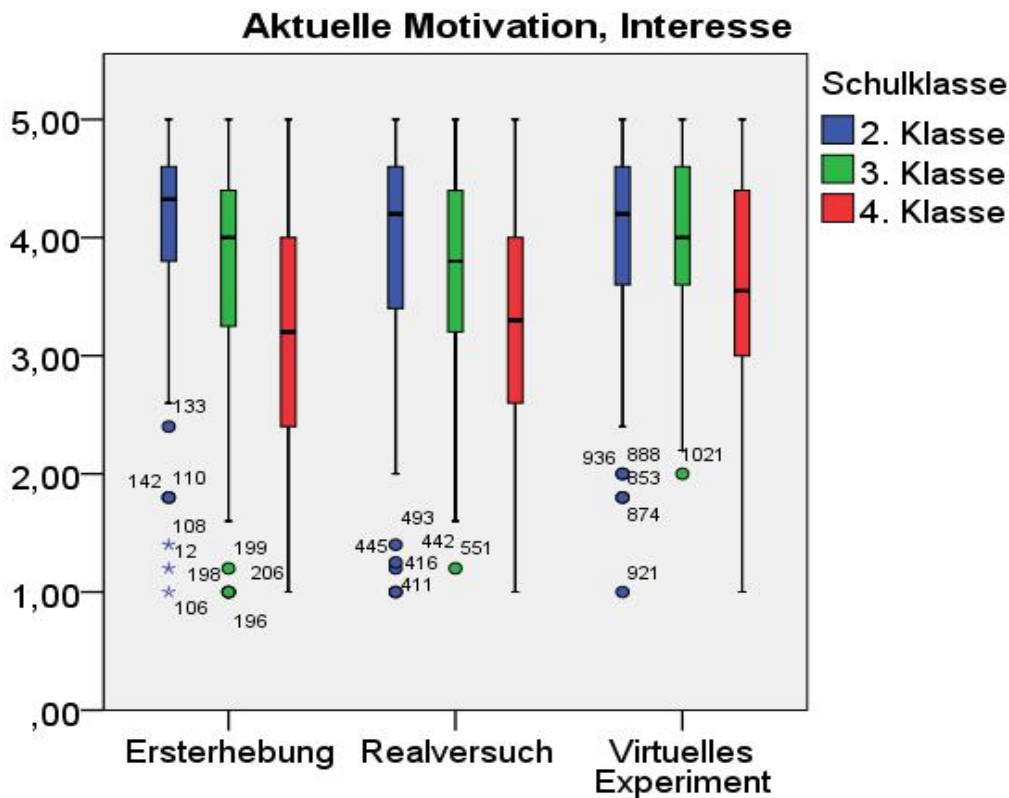


Abbildung 60: Aktuelle Motivation (Komponente Interesse) nach Schulklassen, Boxplot

Bezüglich der Schulklassen zeigt sich, dass es bei der Ersterhebung einen signifikanten Rückgang des Interesses mit jeder höheren Schulklasse gibt. Die 3. Klasse weist im Vergleich zur 2. Klasse hoch signifikant niedrigere Werte ($p = .002^{123}$), die 4. Klasse im Vergleich zur 3. Klasse höchst signifikant niedrigere Werte auf ($p < .001^{124}$).

Bei Durchführung des Realversuchs in der 3. Klasse zeigt sich kein signifikanter Rückgang der Interessenslage ($p = .131^{125}$). In der vierten Klasse ist der Rückgang trotz Realversuch leider höchst signifikant ($p < .001^{126}$).

Auch das virtuelle Experiment zeigt ein ähnliches Bild. Zwischen 2. und 3. Klasse gibt es keinen Unterschied der Interessenslage ($p = .952^{127}$), in der 4. Klasse ist der Rückgang jedoch wie beim Realversuch höchst signifikant ($p < .001^{128}$).

¹²³ Tukey Post-hoc-Test (.3943, 95%-CI[.1227, .6659])

¹²⁴ Tukey Post-hoc-Test (.5930, 95%-CI[.3143, .8718])

¹²⁵ Tukey Post-hoc-Test (.2262, 95%-CI[.0492, .5016])

¹²⁶ Tukey Post-hoc-Test (.4538, 95%-CI[.1759, .7317])

¹²⁷ Tukey Post-hoc-Test (.0292, 95%-CI[.2015, .2599])

¹²⁸ Tukey Post-hoc-Test (.5300, 95%-CI[.2882, .7719])

Allerdings muss auch hier wieder erwähnt werden, dass die Mittelwerte des virtuellen Experiments bis auf eine Ausnahme deutlich höher liegen, als jene der Ersterhebung und des Realversuchs.

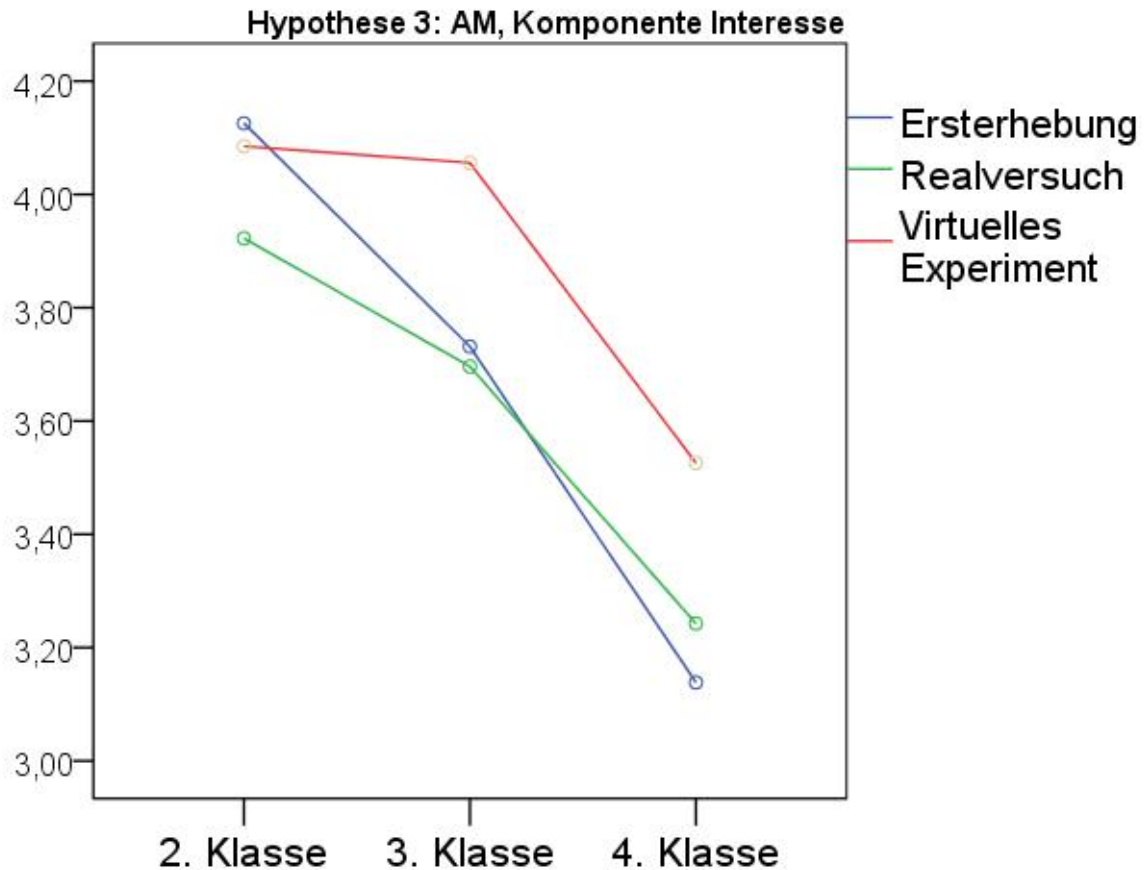


Abbildung 61: Profildigramm zur Komponente Interesse

Auch aus diesem Diagramm ist zu ersehen, dass das Interesse im Physikunterricht mit jeder Schulstufe in der Sekundarstufe I zurückgeht. Trotzdem zeigte der Einsatz von virtuellen Experimenten im Vergleich zur Ersterhebung hoch signifikant ($p = .002$)¹²⁹ bessere Werte. Noch deutlicher ist dieser Unterschied gegenüber dem Realversuch ($p < .001$)¹³⁰.

Bei genauerer Aufschlüsselung zeigt sich, dass es in der zweiten Klasse weder einen signifikanten Unterschied zwischen Realversuch und virtuellem Experiment ($p = .208$)¹³¹ noch zwischen Ersterhebung und virtuellem Experiment ($p = .907$)¹³² gibt. In der dritten Klasse schneidet das virtuelle Experiment hoch signifikant besser ab

¹²⁹ Tukey Post-hoc-Test (.0617, 95%-CI[-.0871, .2105])

¹³⁰ Tukey Post-hoc-Test (-.2181, 95%-CI[-.3669, -.0692])

¹³¹ Tukey Post-hoc-Test (-.1626, 95%-CI[-.3879, .0627])

¹³² Tukey Post-hoc-Test (.0407, 95%-CI[-.1871, .1684])

Ergebnisse und Diskussion

($p = .004$)¹³³ als der Realversuch. Dies bleibt in der 4. Klasse ähnlich, denn auch hier gibt es beim virtuellen Experiment einen signifikant höheren Interessenswert ($p = .042$)¹³⁴ als beim Realversuch¹³⁵.

Wie bereits in den Kapiteln 6.1 und 6.2 erwähnt, kommt auch hier der Kruskal-Wallis-Test zur Qualitätssteigerung und Absicherung der Varianzanalyse zum Einsatz.

Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
Die Verteilung von Hypothese 3 (AM, Interesse) ist über Kategorien von Ersterhebung, Realversuch, virtueller Versuch gleich.	Kruskal-Wallis-Test	.000	Nullhypothese ablehnen.

Tabelle 17: Nichtparametrischer Hypothesentest, Interesse

Dieser bestätigt die Varianzanalyse, denn auch hier waren die Werte des virtuellen Experiments signifikant höher als die Vergleichswerte und die Nullhypothese ist abzulehnen. Dieser Unterschied kann auch durch die folgenden drei Boxplots optisch untermauert werden.

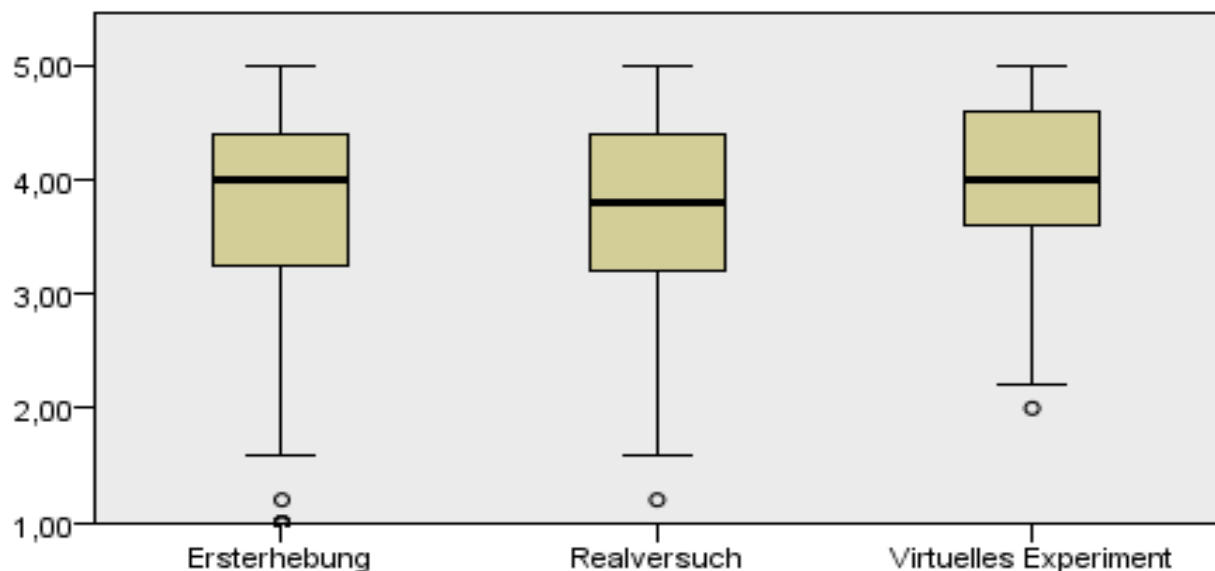


Abbildung 62: Boxplotvergleich Interesse

¹³³ Tukey Post-hoc-Test (.3596, 95%-CI[-.0965, .6226])

¹³⁴ Tukey Post-hoc-Test (.2833, 95%-CI[.0086, .5580])

¹³⁵ Für die 2. und 3. Klasse wurde auf Grund der auf Gleichheit der Fehlervarianzen (Levene-Test) der Welch-Test durchgeführt.

Somit geht klar hervor, dass hier die Nullhypothese abzulehnen ist und die Alternativhypothese „Im Vergleich zu real durchgeführten Schülerinnen- und Schülerversuchen im Physikunterricht der Sekundarstufe I zeigen die Lernenden größeres Interesse an virtuell durchgeführten Versuchen“ Gültigkeit bekommt.

Hypothese 3: Aktuelle Motivation, Komponente Interesse							
		Gesamt	Fehlend	\bar{x}	gültig	σ	σ^2
Ersterhebung	2. Klasse	143	3	4.13	140	.78	.60
	3. Klasse	119	6	3.73	113	.96	.91
	4. Klasse	136	11	3.14	125	1.01	1.02
Realversuch	2. Klasse	150	4	3.92	146	.94	.89
	3. Klasse	115	3	3.70	112	.89	.79
	4. Klasse	141	1	3.24	140	.96	.91
Virtuelles Experiment	2. Klasse	155	0	4.09	155	.76	.58
	3. Klasse	117	0	4.06	117	.67	.45
	4. Klasse	135	9	3.53	126	.94	.89

Tabelle 18: Deskriptive Statistiken zu Hypothese 3

6.4 Hypothese 4 und 5, aktuelle Motivation – Komponente Misserfolgsbefürchtung (Erfolgswahrscheinlichkeit)

Wie aus den Erklärungen in Kapitel 5.4 hervorgeht, wurde die interne Konsistenz der Items aller Hypothesentests über den Cronbachs α -Koeffizienten berechnet (vgl. Bortz & Döring, 2016, S. 271; Bortz & Schuster, 2010, S. 429). Hier zeigte sich, dass nach Umcodierung einiger Items¹³⁶ die Forschungshypothesen 4 (Erfolgswahrscheinlichkeit) und 5 (Misserfolgsbefürchtung) sowohl kontextbasiert als auch auf Grund des berechneten Cronbachs $\alpha = .815$ Werts zusammengefasst werden können.

Die folgenden Daten werden somit aus der Sichtweise: „Komponente Misserfolgsbefürchtung (aktuelle Motivation)“ erklärt und interpretiert. Sinngemäß kann für die Komponente Erfolgswahrscheinlichkeit immer vom umgekehrten Fall ausgegangen werden, da die Termini konträren Charakter haben (vgl. Kapitel 4.4.3 und 4.4.5).

Interessanterweise zeigt die Studie, dass es bei keinem der drei Durchgänge (Ersterhebung - $F(1,366) = 1.200$, $p = .274$, $\eta^2 = .003$, Realversuch - $F(1,396) = .442$, $p = .506$, $\eta^2 = .001$, virtuelles Experiment - $F(1,376) = .091$, $p = .763$, $\eta^2 = .000$) signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern bei der Misserfolgsbefürchtung gibt.

¹³⁶ Die positiv formulierten Items zur Erfolgswahrscheinlichkeit wurden in SPSS passend für die Misserfolgsbefürchtung umcodiert.

Ergebnisse und Diskussion

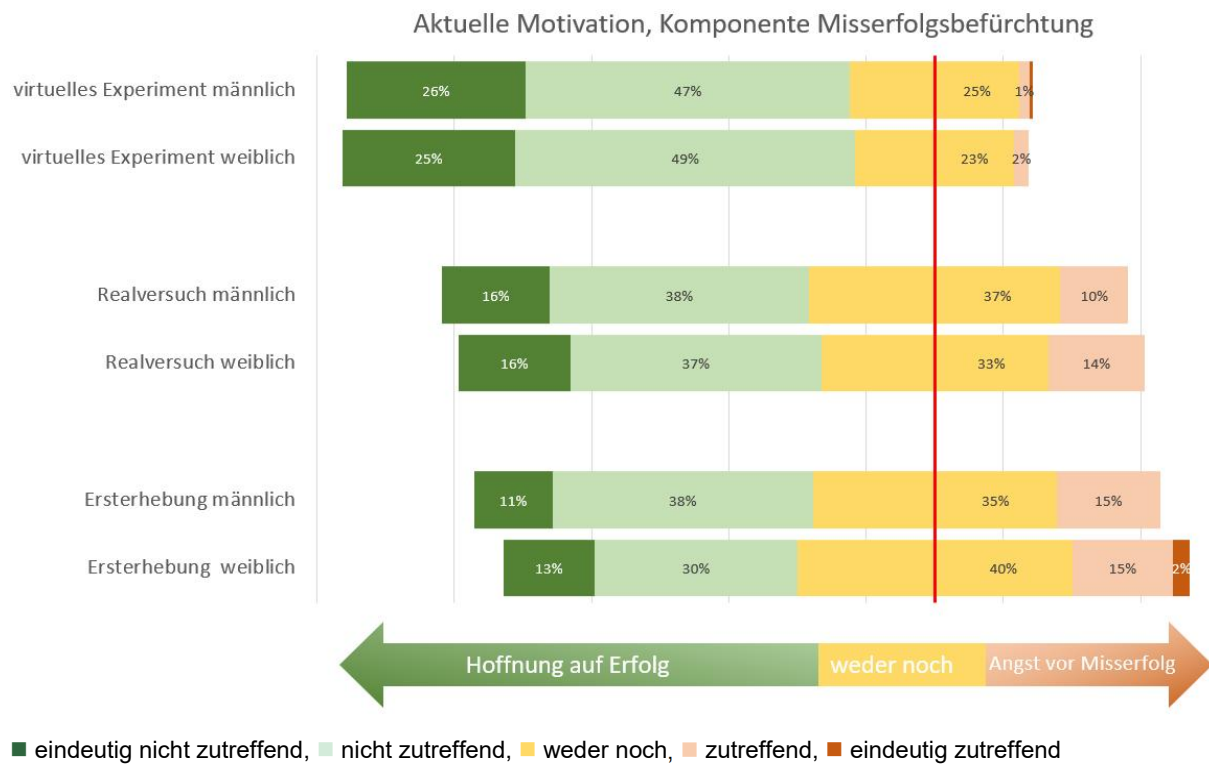
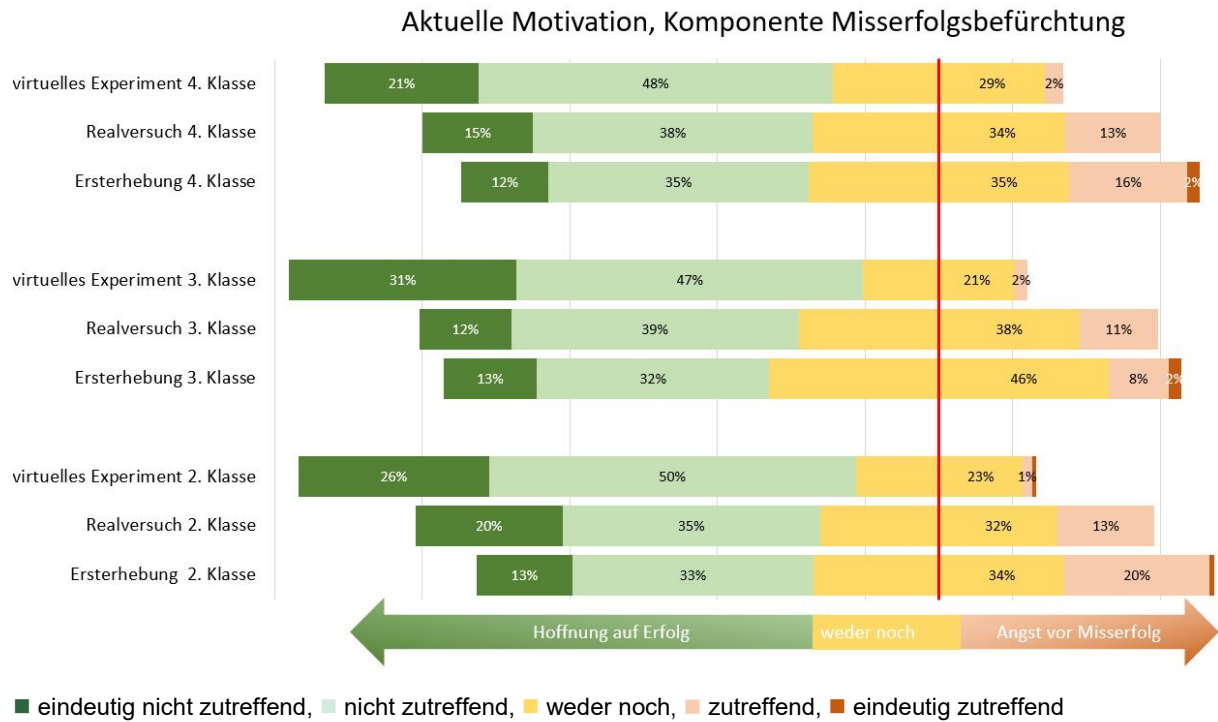


Abbildung 63: Motivationslage, aktuelle Motivation, Komponente Misserfolgsbefürchtung nach Geschlecht

Ergebnisse und Diskussion

Die folgenden Abbildungen geben die Verteilung der Daten nach Schulklassen und Versuchsart in übersichtlicher, grafischer Form wieder:



Die Prozentangaben geben die arithmetischen Mittelwerte der Dimension „Motivation-Misserfolgsbefürchtung“ wieder.

Abbildung 64: Aktuelle Motivation (Misserfolgsbefürchtung) nach Schulstufen

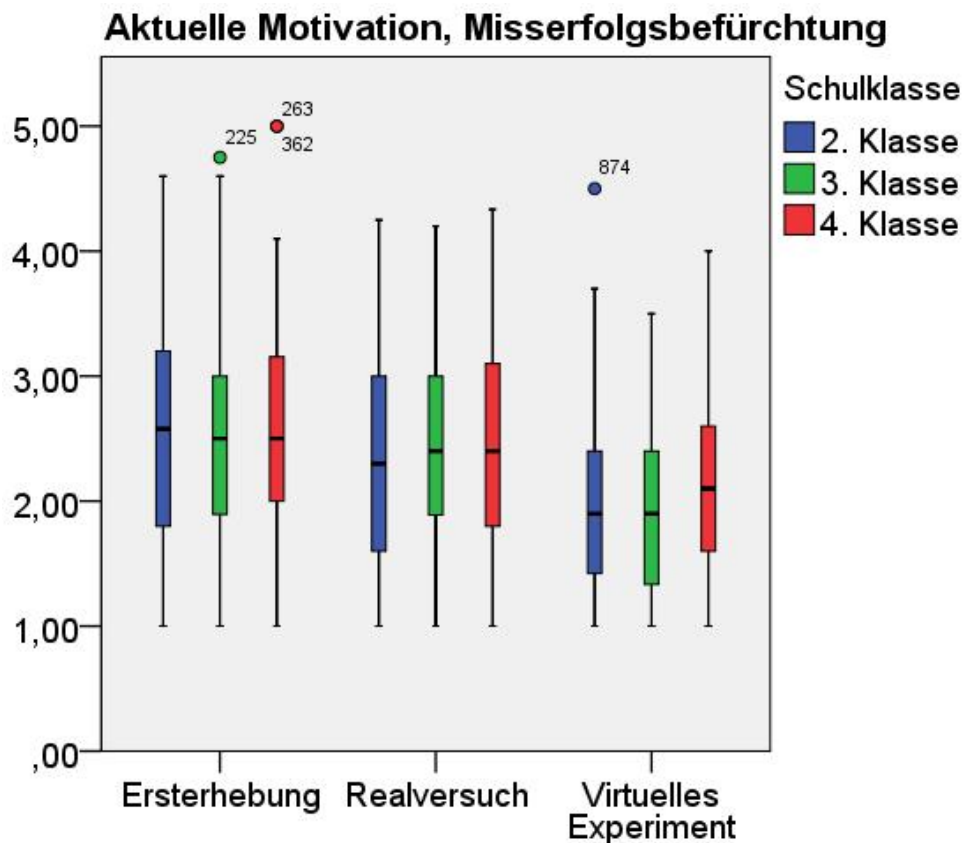


Abbildung 65: Aktuelle Motivation (Komponente Misserfolgsbefürchtung) nach Schulklassen, Boxplot

Hervorzuheben ist hier die Tatsache, dass es zwischen den Jahrgangsstufen weder bei der Ersterhebung ($p = .696^{137}$; $p = .481^{138}$)¹³⁹, noch beim Realversuch ($p = .839^{140}$; $p = .992^{141}$) oder beim virtuellen Experiment ($p = .683^{142}$; $p = .067^{143}$) signifikante Unterschiede bezüglich der Misserfolgsbefürchtung gibt.

Allerdings haben bei der Betrachtung der einzelnen Testzeitpunkte in allen getesteten Schulstufen die Schülerinnen und Schüler beim virtuellen Experiment signifikant weniger Angst vor Misserfolg als bei Ersterhebung und Realversuch (2. Klasse: Welch-Test $F(2,436) = 13.463$, $p < .001$, 3. Klasse: $F(2,338) = 21.230$, $p < .001$, $\eta^2 = .112$, 4. Klasse: Welch-Test $F(2,249.061) = 14.858$, $p < .001$). In der 3. Klasse ist der Effekt am stärksten ausgeprägt.

¹³⁷ Tukey Post-hoc-Test (.0883, 95%-CI[-.1675, .3442])

¹³⁸ Tukey Post-hoc-Test (-.1300, 95%-CI[-.3948, .1348])

¹³⁹ erster Wert: p-Wert zwischen 2. und 3. Klasse; zweiter Wert: p-Wert zwischen 3. und 4. Klasse

¹⁴⁰ Tukey Post-hoc-Test (-.0594, 95%-CI[-.3070, .1882])

¹⁴¹ Tukey Post-hoc-Test (-.0129, 95%-CI[-.2628, .2371])

¹⁴² Tukey Post-hoc-Test (.0669, 95%-CI[-.1221, .2559])

¹⁴³ Tukey Post-hoc-Test (-.1887, 95%-CI[-.3872, .0099])

Diese Tatsache soll durch das folgende Liniendiagramm nochmals optisch untermauert werden. Niedrigere Werte (rote Linie) stellen weniger Angst vor Misserfolg dar und wirken sich besser auf die aktuelle Motivation aus als höhere Werte.

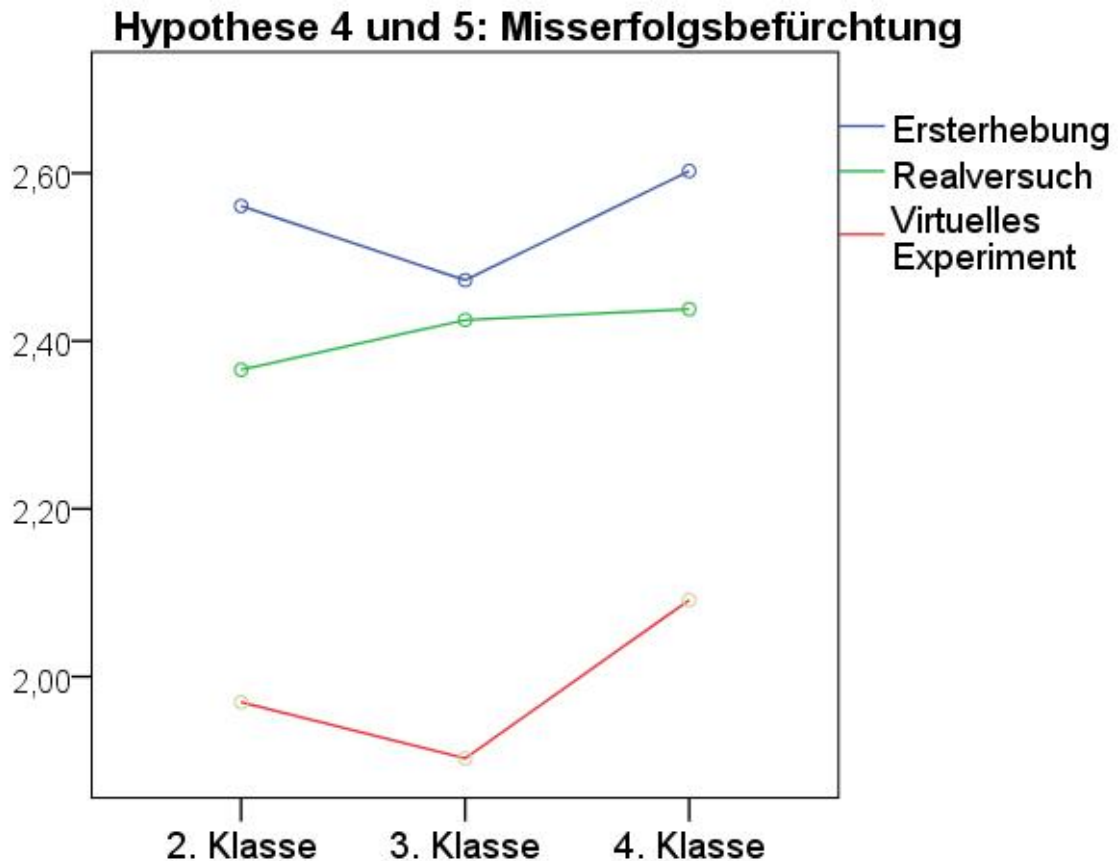


Abbildung 66: Komponente Misserfolgsbefürchtung: Vergleich Ersterhebung, Realversuch, virtuelles Experiment

Zur Qualitätssteigerung wird wieder der H-Test (Kruskal-Wallis) angeführt, welcher ebenfalls zu dem Ergebnis kommt, dass auf Grund höchst signifikanter Unterschiede die Nullhypothese abzulehnen ist.

Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
Die Verteilung von Hypothese 4 und 5 (AM, Misserfolgsbefürchtung) ist über Kategorien von Ersterhebung, Realversuch, virtueller Versuch gleich.	Kruskal-Wallis-Test	.000	Nullhypothese ablehnen.

Tabelle 19: Nichtparametrischer Hypothesentest, Misserfolgsbefürchtung

Ergebnisse und Diskussion

Auch im folgenden Boxplotdiagramm ist der höchst signifikante Unterschied deutlich zu sehen.

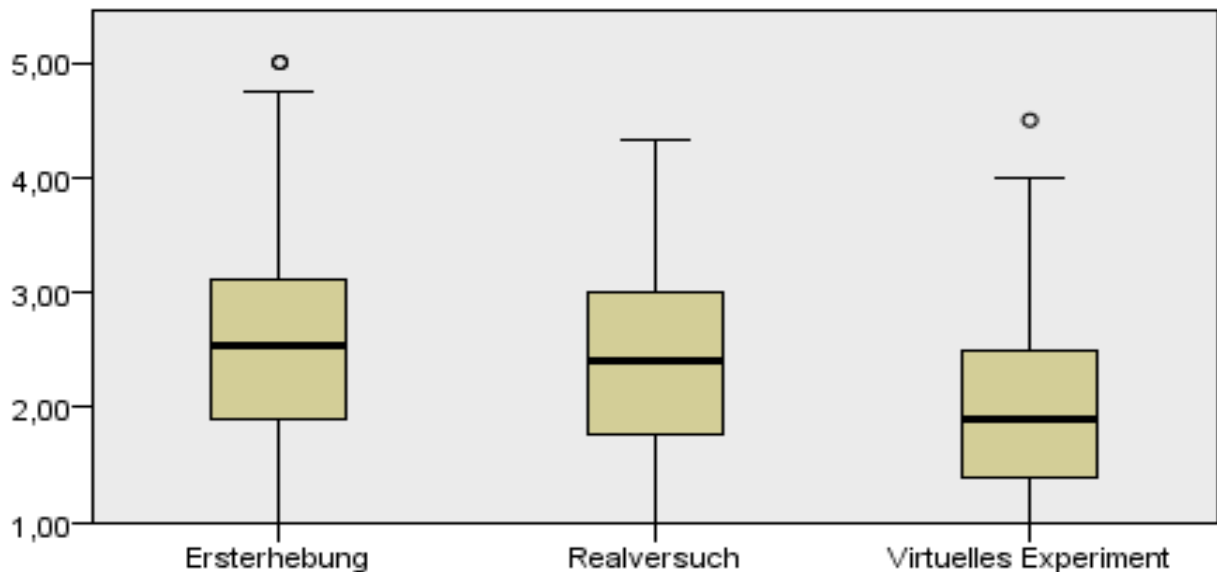


Abbildung 67: Boxplotvergleich Misserfolgsbefürchtung

Alle durchgeführten Tests zeigen höchst signifikant an, dass die Nullhypothese abzulehnen ist und die Alternativhypothese „im Vergleich zu real durchgeführten Schülerinnen- und Schülerversuchen im Physikunterricht der Sekundarstufe I sinkt die Angst vor Misserfolg und Unzufriedenheit bei virtuell durchgeführten Versuchen“ gültig wird.

Hypothese 4 und 5: Aktuelle Motivation, Komponente Misserfolgsbefürchtung							
		Gesamt	Fehlend	\bar{x}	gültig	σ	σ^2
Ersterhebung	2. Klasse	143	5	2.56	138	.89	.79
	3. Klasse	119	8	2.47	111	.80	.63
	4. Klasse	136	17	2.60	119	.86	.74
Realversuch	2. Klasse	150	4	2.37	146	.90	.80
	3. Klasse	115	2	2.43	113	.77	.59
	4. Klasse	141	1	2.44	140	.83	.70
Virtuelles Experiment	2. Klasse	155	0	1.97	155	.65	.42
	3. Klasse	117	0	1.90	117	.64	.41
	4. Klasse	135	10	2.09	125	.68	.46

Tabelle 20: Deskriptive Statistiken zu Hypothese 4 und 5

6.5 Hypothese 6, Flow-Erleben

Bei allen drei Testungen weisen die weiblichen Teilnehmerinnen hochsignifikant geringere Werte für das „Flow-Erleben“ auf als die männlichen Probanden (Ersterhebung - $F(1,364) = 21.255$, $p = .001$, $\eta^2 = .030$, Realversuch - $F(1,395) = 4,977$, $p = .026$, $\eta^2 = .012$, virtuelles Experiment - $F(1,386) = 9.459$, $p = .002$, $\eta^2 = .024$). Wie bereits aus den zahlenmäßigen Angaben ersichtlich, treten diese jedoch nur mit geringer Effektstärke auf.

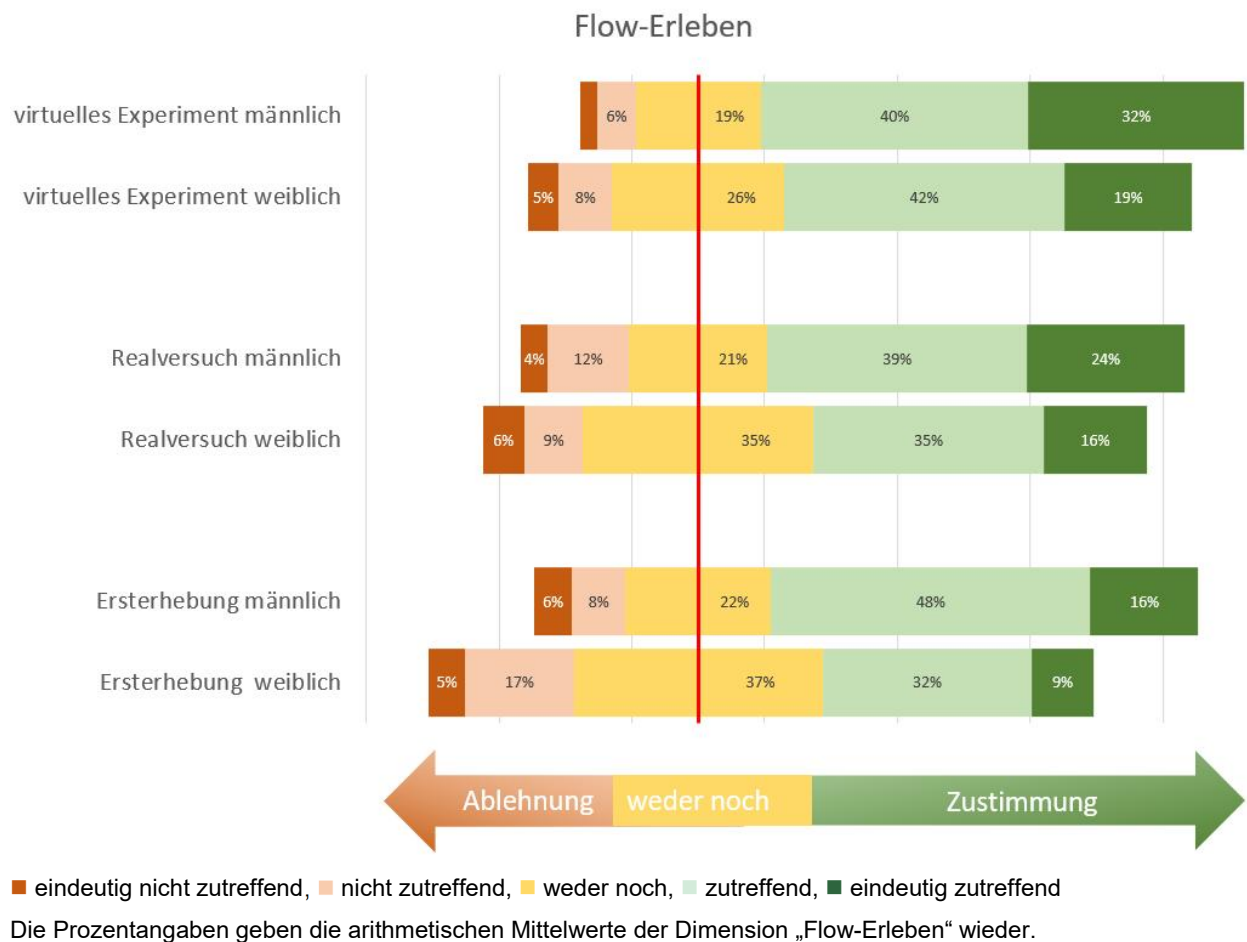
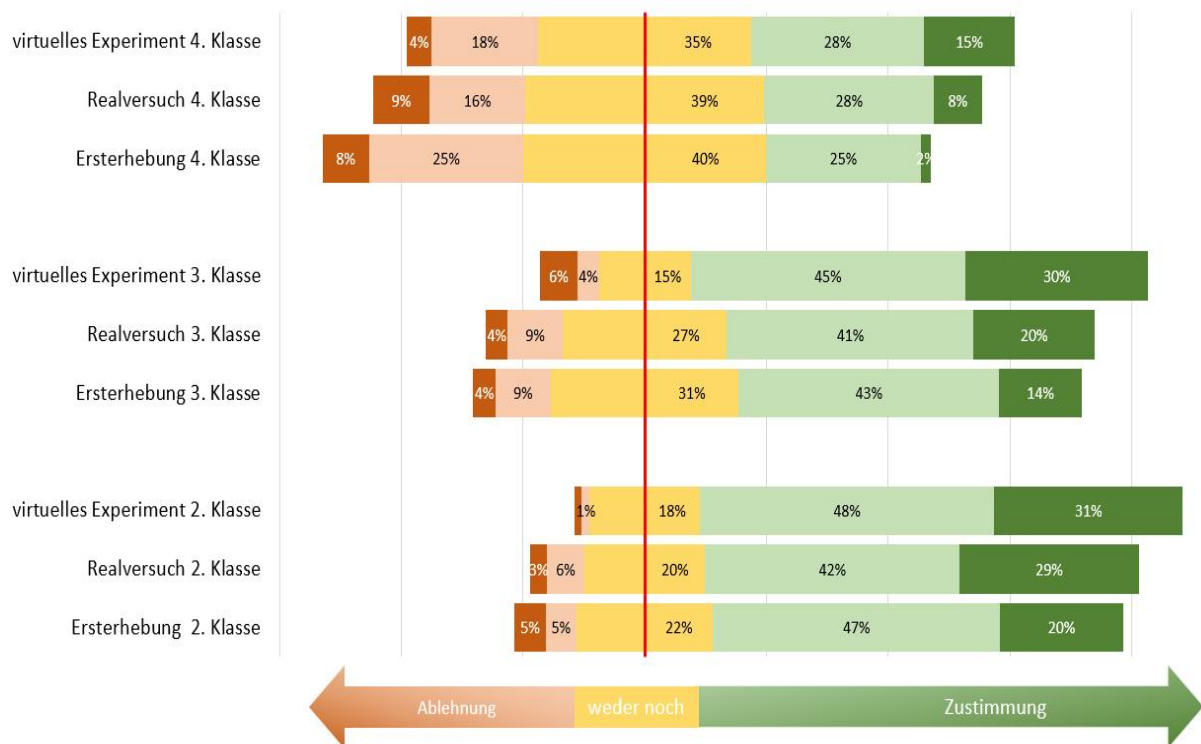


Abbildung 68: Flow-Erleben nach Geschlecht

Die folgenden Abbildungen geben die Verteilung der Daten nach Schulklassen und Versuchsart wieder:

Ergebnisse und Diskussion

Flow - Erleben



■ eindeutig nicht zutreffend, ■ nicht zutreffend, ■ weder noch, ■ zutreffend, ■ eindeutig zutreffend

Die Prozentangaben geben die arithmetischen Mittelwerte der Dimension „Flow-Erleben“ wieder.

Abbildung 69: Flow-Erleben nach Schulklassen

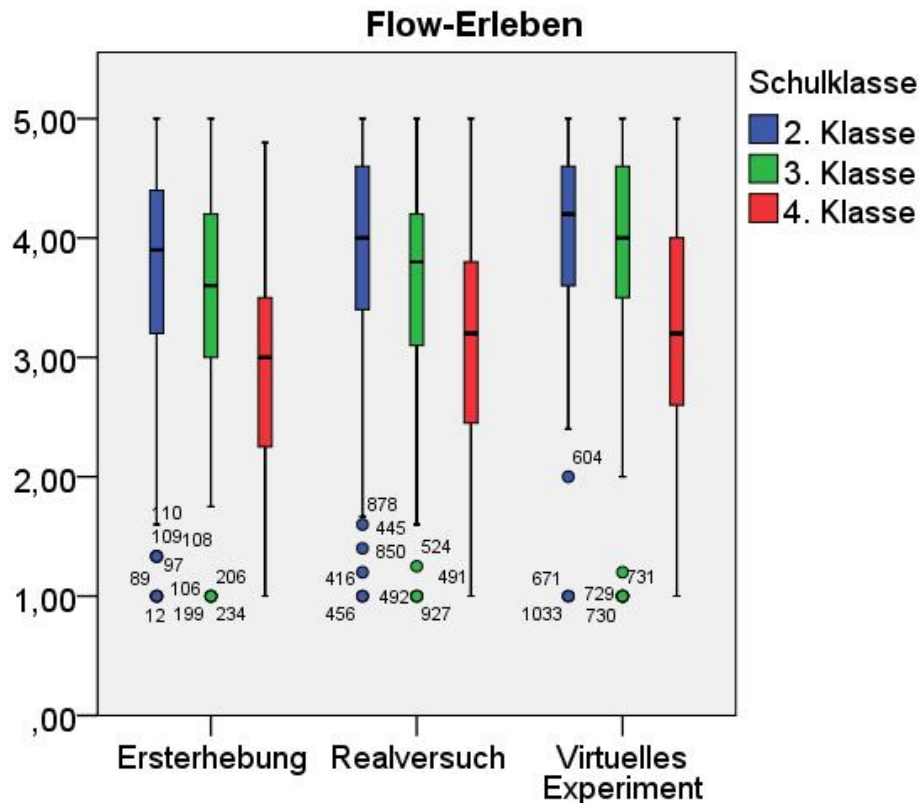


Abbildung 70: Flow-Erleben nach Schulklassen, Boxplot

Leider bestätigt dieser Hypothesentest, dass das Flow-Erleben mit jedem Schuljahr drastisch sinkt. Die durchgeführte Testung zeigt für die Ersterhebung, dass zwischen der zweiten und dritten Klasse der Sekundarstufe I noch keine signifikante ($p = .291^{144}$) Differenz besteht, von der 3. zur 4. Klasse wird dieser Unterschied jedoch höchst signifikant ($p < .001^{145}$).

Genau dasselbe Bild zeigt sich bei der Durchführung von realen Schülerinnen- und Schülerversuchen. Zwischen 2. und 3. Klasse besteht kein signifikanter Unterschied ($p = .101^{146}$), zwischen 3. und 4. Klasse wird der Rückgang des Flow-Erlebens höchst signifikant ($p < .001^{147}$).

Auch für den virtuellen Schülerinnen- und Schülerversuch muss derselbe Befund erstellt werden, zwischen 2. und 3. Klasse kein signifikanter Unterschied ($p = .226^{148}$), zwischen 3. und 4. Klasse jedoch wiederum ein höchst signifikanter Rückgang ($p < .001^{149}$) des Flow-Erlebens.

¹⁴⁴ Tukey Post-hoc-Test (.1790, 95%-CI[-.1015, .4594])

¹⁴⁵ Tukey Post-hoc-Test (.6192, 95%-CI[.3284, .9100])

¹⁴⁶ Tukey Post-hoc-Test (.2557, 95%-CI[-.0372, .5486])

¹⁴⁷ Tukey Post-hoc-Test (.5206, 95%-CI[.2249, .8162])

¹⁴⁸ Tukey Post-hoc-Test (.1872, 95%-CI[-.0797, .4540])

¹⁴⁹ Tukey Post-hoc-Test (.6009, 95%-CI[.3181, .8836])

Vergleicht man die Jahrgangsstufen untereinander, so zeigt sich, dass in der zweiten Klasse das virtuelle Experiment durchschnittlich zwar höhere Mittelwerte aufweist, jedoch wird der Unterschied zum Realversuch nicht signifikant ($p = .119^{150}$). Obwohl das virtuelle Experiment stets höhere Motivationswerte als der reale Versuch aufweist, wird der Unterschied weder in der 3. Klasse ($p = .092^{151}$) noch in der 4. Klasse ($p = .268^{152}$) signifikant.

Umso interessanter zeigt sich dann die Testung über die ganze Sekundarstufe I hinweg, denn hier werden die gesamten Mittelwertunterschiede schlagend.

Das Flow-Erleben des virtuellen Versuchs weist im Vergleich zur Ersterhebung höchst signifikant ($p < .001^{153}$) und im Vergleich zum Realversuch hochsignifikant ($p = .001^{154}$) höhere Werte auf. Dies soll auch durch folgendes Diagramm visuell untermauert werden:

¹⁵⁰ Tukey Post-hoc-Test (-.2029, 95%-CI[-.4444, .0386])

¹⁵¹ Tukey Post-hoc-Test (-.2715, 95%-CI[-.5763, .0334])

¹⁵² Tukey Post-hoc-Test (-.1912, 95%-CI[-.4811, .0988])

¹⁵³ Tukey Post-hoc-Test (-.3758, 95%-CI[-.5377, -.2138])

¹⁵⁴ Tukey Post-hoc-Test (-.2499, 95%-CI[-.4086, -.0913])

Hypothese 6: Flow-Erleben

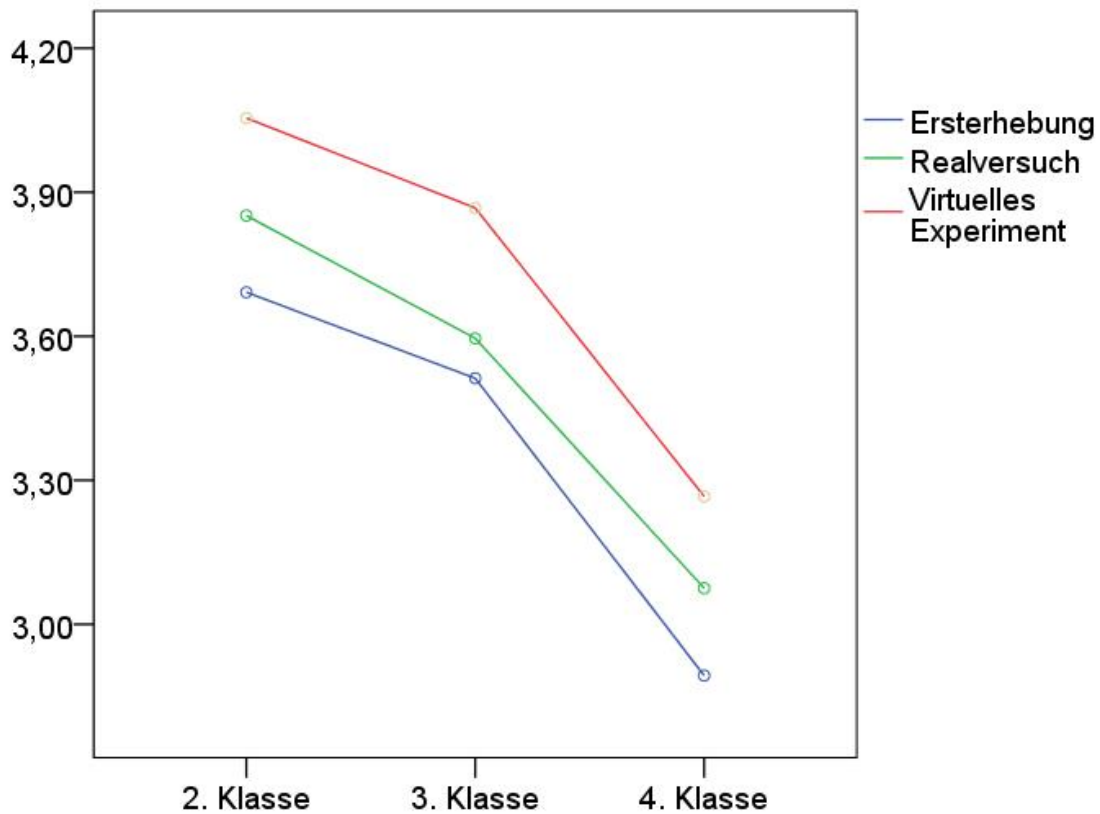


Abbildung 71: Profildigramm Flow-Erleben

Zur Qualitätssteigerung wird auch bei dieser Hypothese wieder der Kruskal-Wallis-Test angeführt. Dieser deckt sich komplett mit den bisherigen Ausführungen, denn auch hier ist die Nullhypothese abzulehnen.

Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
Die Verteilung von Hypothese 6 (Flow-Erleben) ist über Kategorien von Ersterhebung, Realversuch, virtueller Versuch gleich.	Kruskal-Wallis-Test	.000	Nullhypothese ablehnen.

Tabelle 21: Nichtparametrischer Hypothesentest, Flow-Erleben

Die Unterschiede, die zur Ablehnung der Nullhypothese führen, sollen auch durch die folgenden Boxplots nochmals verdeutlicht werden:

Ergebnisse und Diskussion

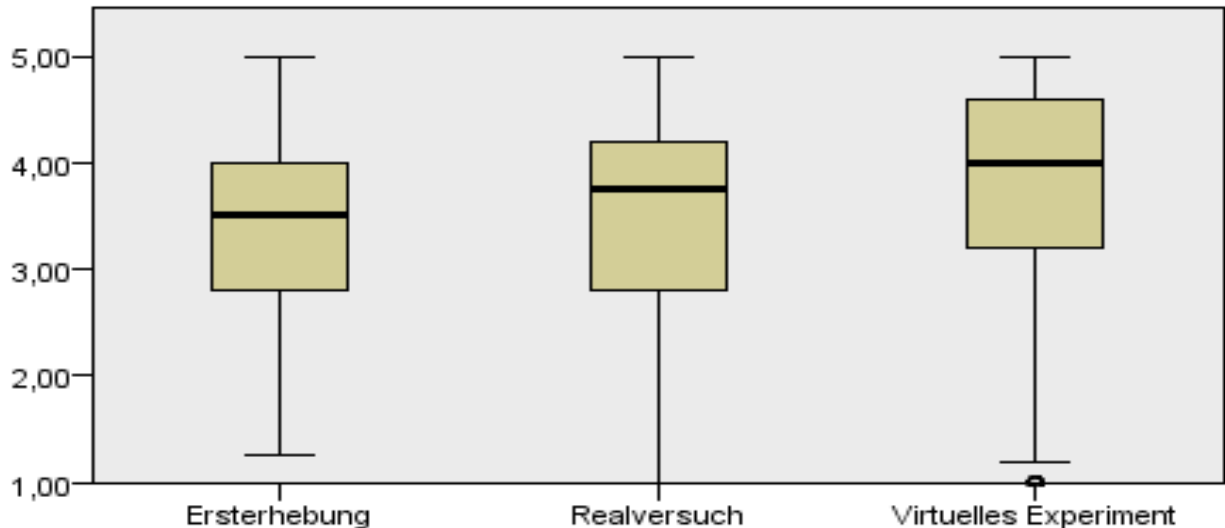


Abbildung 72: Boxplotvergleich Flow-Erleben

Die soeben angeführten Hypothesentests zeigen, dass das Flow-Erleben beim virtuellen Experimentieren signifikant höher ist als beim realen Schülerversuch. Die Alternativhypothese „Im Vergleich zu real durchgeführten Schülerinnen- und Schülerversuchen haben die Lernenden im Physikunterricht der Sekundarstufe I bei virtuellen Versuchen öfters ein Flow-Erleben“ ist somit in vollem Umfang gültig.

Hypothese 6: Flow-Erleben							
		Gesamt	Fehlend	\bar{x}	gültig	σ	σ^2
Ersterhebung	2. Klasse	143	5	3.69	138	.96	.92
	3. Klasse	119	9	3.51	110	.93	.86
	4. Klasse	136	18	2.89	118	.91	.82
Realversuch	2. Klasse	150	4	3.85	146	.96	.93
	3. Klasse	115	4	3.60	111	.97	.95
	4. Klasse	141	1	3.08	140	1.02	1.05
Virtuelles Experiment	2. Klasse	155	0	4.05	155	.74	.55
	3. Klasse	117	4	3.87	113	1.00	1.01
	4. Klasse	135	15	3.27	120	1.03	1.05

Tabelle 22: Deskriptive Statistiken zu Hypothese 6

6.6 Hypothese 7, Autonomieerleben

Obwohl die Mädchen immer einen geringeren Mittelwert aufweisen, gibt es zu keinem Zeitpunkt dieser Untersuchung einen signifikanten Unterschied im Autonomieerleben zwischen den weiblichen und männlichen Befragten (Ersterhebung - $F(1,298) = 3,320$, $p = .069$, Realversuch - $F(1,379) = 3,577$, $p = .059$, virtuelles Experiment - $F(1,385) = .756$, $p = .385$).

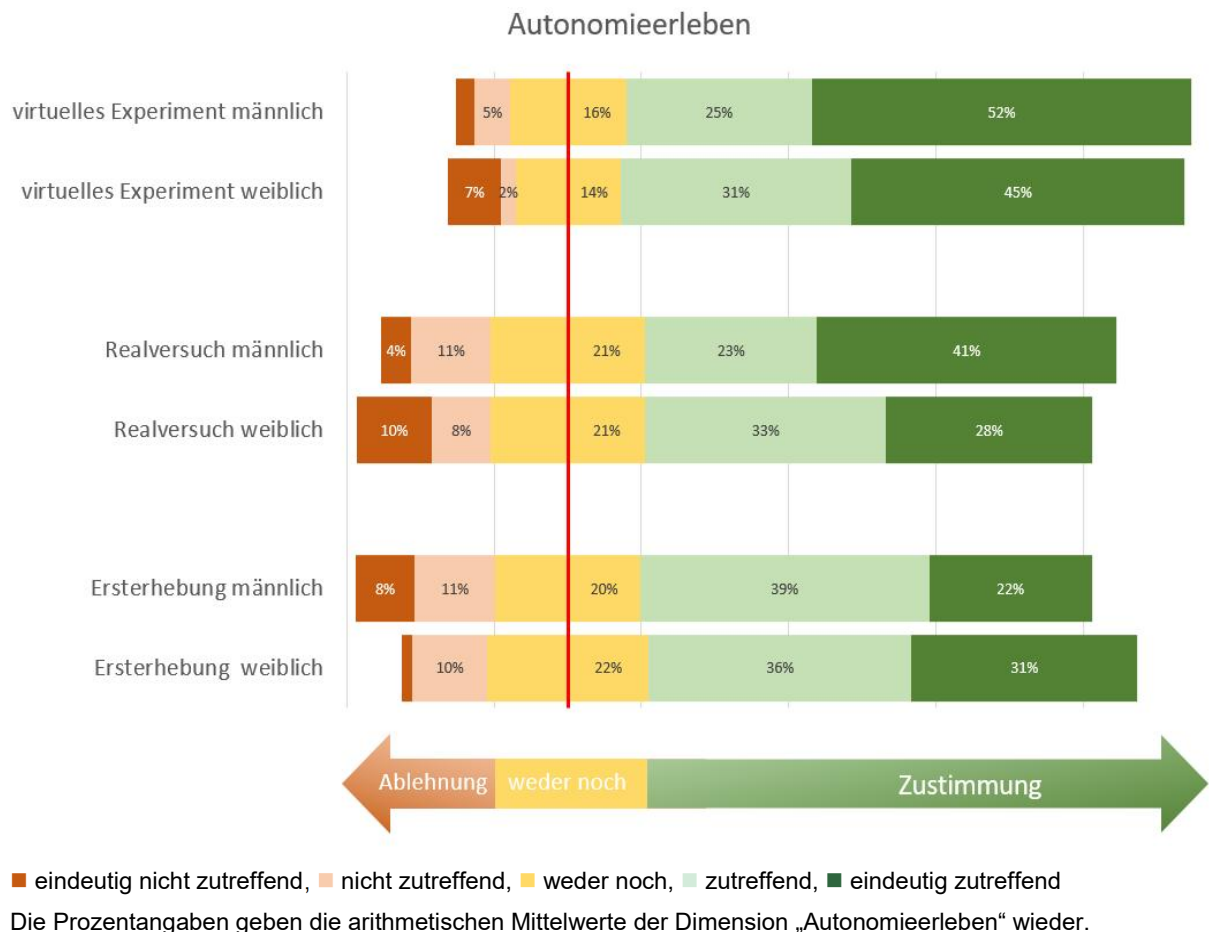
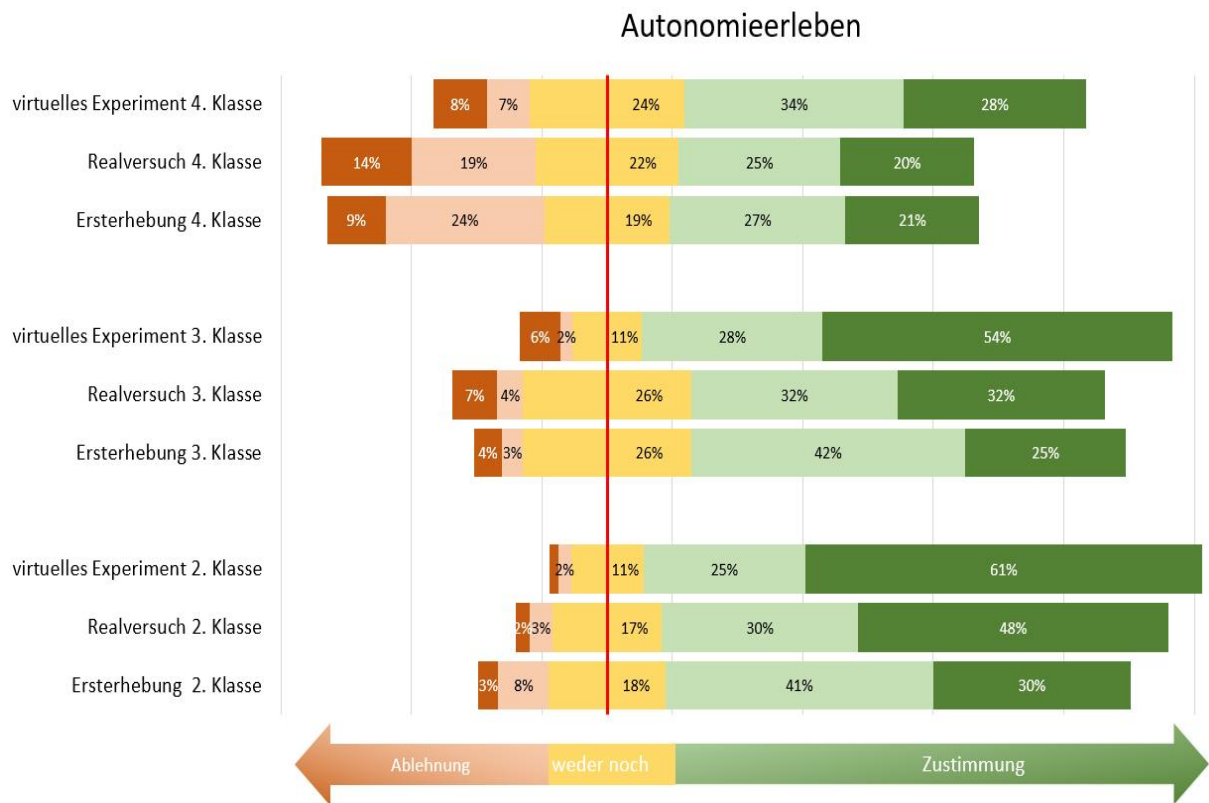


Abbildung 73: Autonomieerleben nach Geschlecht

Die folgenden Abbildungen geben die Verteilung der Daten nach Schulklassen und Versuchsart wieder.

Bei der Testung dieser Hypothese stellte sich durch den Levene-Test heraus, dass in vielen Fällen keine Varianzhomogenität vorliegt. Hier wurde der robustere Welch-Test bevorzugt.

Ergebnisse und Diskussion



■ eindeutig nicht zutreffend,
 ■ nicht zutreffend,
 ■ weder noch,
 ■ zutreffend,
 ■ eindeutig zutreffend
 Die Prozentangaben geben die arithmetischen Mittelwerte der Dimension „Autonomieerleben“ wieder.

Abbildung 74: Autonomieerleben nach Schulklassen

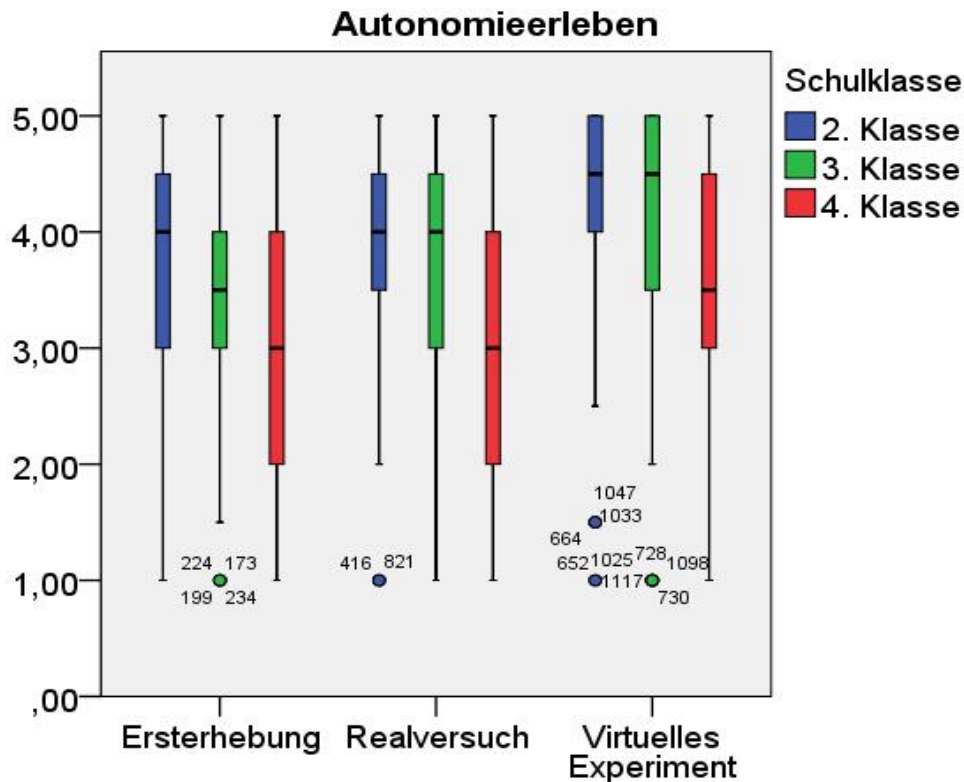


Abbildung 75: Autonomieerleben nach Schulklassen, Boxplot

Das Autonomieerleben zwischen 2. und 3. Klasse unterscheidet sich bei der Ersterhebung nicht signifikant. (Welch-Test: $F(2,173.398) = 7,496$, $p = .796$). Zwischen der 3. und 4. Klasse besteht jedoch ein hoch signifikanter Unterschied (Welch-Test: $F(2,173.398) = 7,496$, $p < .001$). Im Gegensatz dazu sinkt beim Realversuch das Gefühl der Autonomie in jeder höheren Klasse hochsignifikant (2. auf 3. Klasse: Welch-Test: $F(2,233.022) = 27,445$, $p = .021$) bzw. höchst signifikant (3. auf 4. Klasse: Welch-Test: $F(2,233.022) = 27,445$, $p < .001$). Das Durchführen des virtuellen Schülerinnen- und Schülerexperiments lässt für das Autonomieerleben zwischen der 2. und 3. Klasse keinen signifikanten Unterschied (Welch-Test: $F(2,18.237) = 18,237$, $p = .156$) erkennen. In der 4. Klasse wird im Vergleich zur 3. Klasse der Abfall des Autonomieerlebens jedoch höchst signifikant $F(2,18.237) = 18,237$, $p < .001$).

Interessanterweise zeigt sich, dass in der 2. Klasse der Realversuch im Vergleich zur Ersterhebung das Autonomieerleben hochsignifikant ($F(2,422) = 13,235$, $p = .024$) ansteigen lässt. Klar übertroffen wird der Realversuch aber vom virtuellen Experiment, denn hier ist das Autonomieerleben nochmals hochsignifikant höher ($F(2,422) = 13,235$, $p = .030$). Für die 3. Klasse muss ein anderer Befund erstellt werden, denn hier gibt es keinen signifikanten Unterschied zwischen Ersterhebung und realem

Ergebnisse und Diskussion

Versuch ($F(2,303) = 5,980$, $p = .998$), das virtuelle Experiment lässt jedoch weiterhin ein hochsignifikantes Autonomieerleben ($F(2,303) = 5,980$, $p = .009$) zu. In der 4. Klasse liefert der Realversuch sogar niedrigere Autonomieerlebenswerte ($F(2,334) = 6,200$, $p = .936$) als die Ersterhebung. Wie zu erkennen, ist dieser Unterschied jedoch nicht von signifikanter Relevanz. Interessant ist allerdings die Tatsache, dass das virtuelle Experiment in der 4. Klasse der Sekundarstufe I noch immer hochsignifikant ($F(2,334) = 6,200$, $p = .003$) bessere Werte beim Autonomieerleben liefert als der Realversuch. Hier ist der Unterschied zwischen den einzelnen Schulklassen sehr deutlich.

Vergleicht man nicht nur einzelne Klassen, sondern den Verlauf über die gesamte Sekundarstufe I, so lässt sich im folgenden Diagramm bereits optisch erkennen, dass das virtuelle Experiment hochsignifikant (Welch-Test: $F(2,690.748) = 2.235$, $p < .001$) mehr Autonomieerleben zulässt als der reale Versuch.

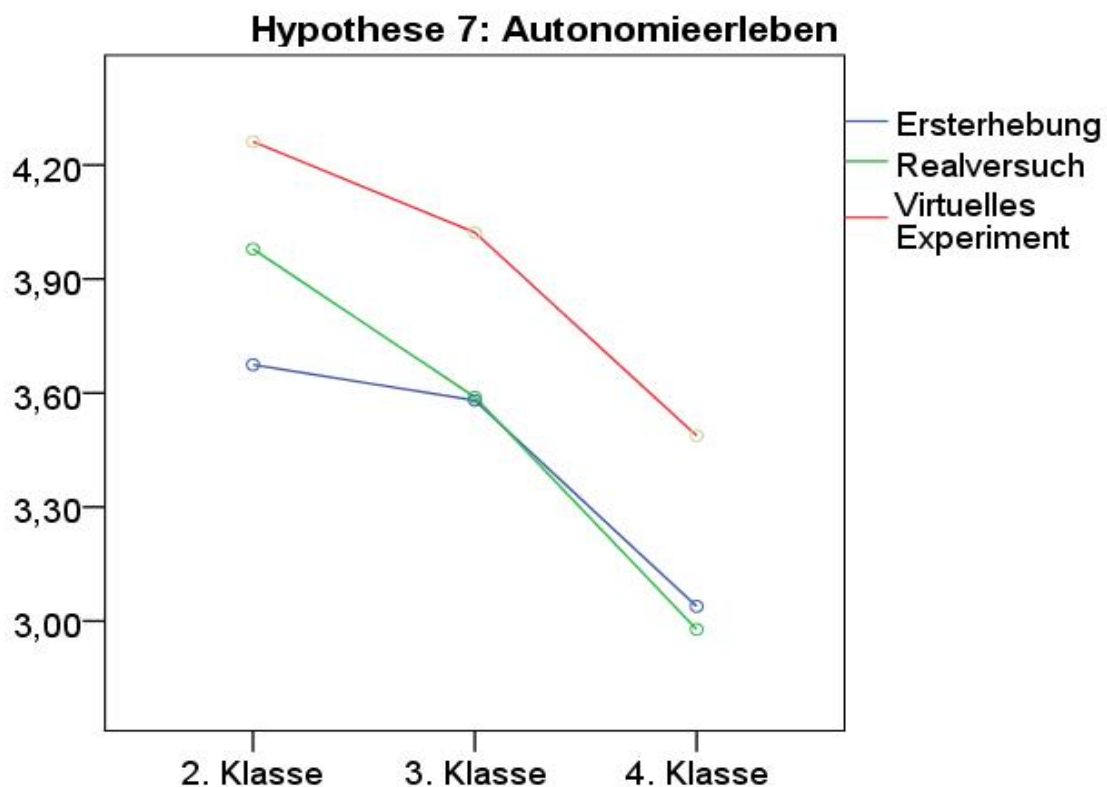


Abbildung 76: Profildiagramm Autonomieerleben

Zur weiteren Absicherung wird wieder der Kruskal-Wallis-Test herangezogen:

Ergebnisse und Diskussion

Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
Die Verteilung von Hypothese 7 (Autonomieerleben) ist über Kategorien von Ersterhebung, Realversuch, virtueller Versuch gleich.	Kruskal-Wallis-Test	.000	Nullhypothese ablehnen.

Tabelle 23: Nichtparametrischer Hypothesentest, Autonomieerleben

Aus diesem Test geht eindeutig hervor, dass die Nullhypothese abzulehnen ist. Dies lässt sich auch durch den optischen Vergleich der Boxplots nochmals untermauern.

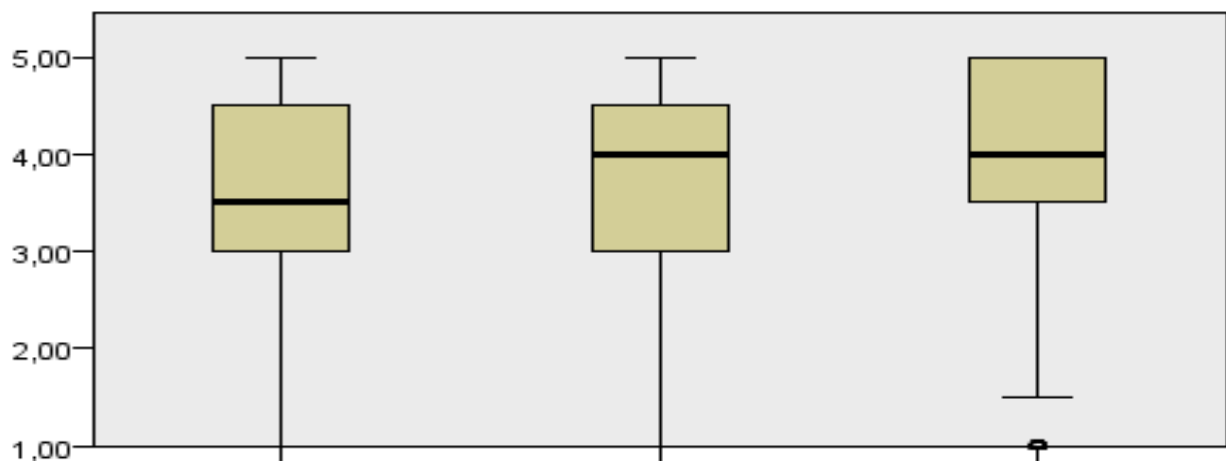


Abbildung 77: Boxplotvergleich Autonomieerleben

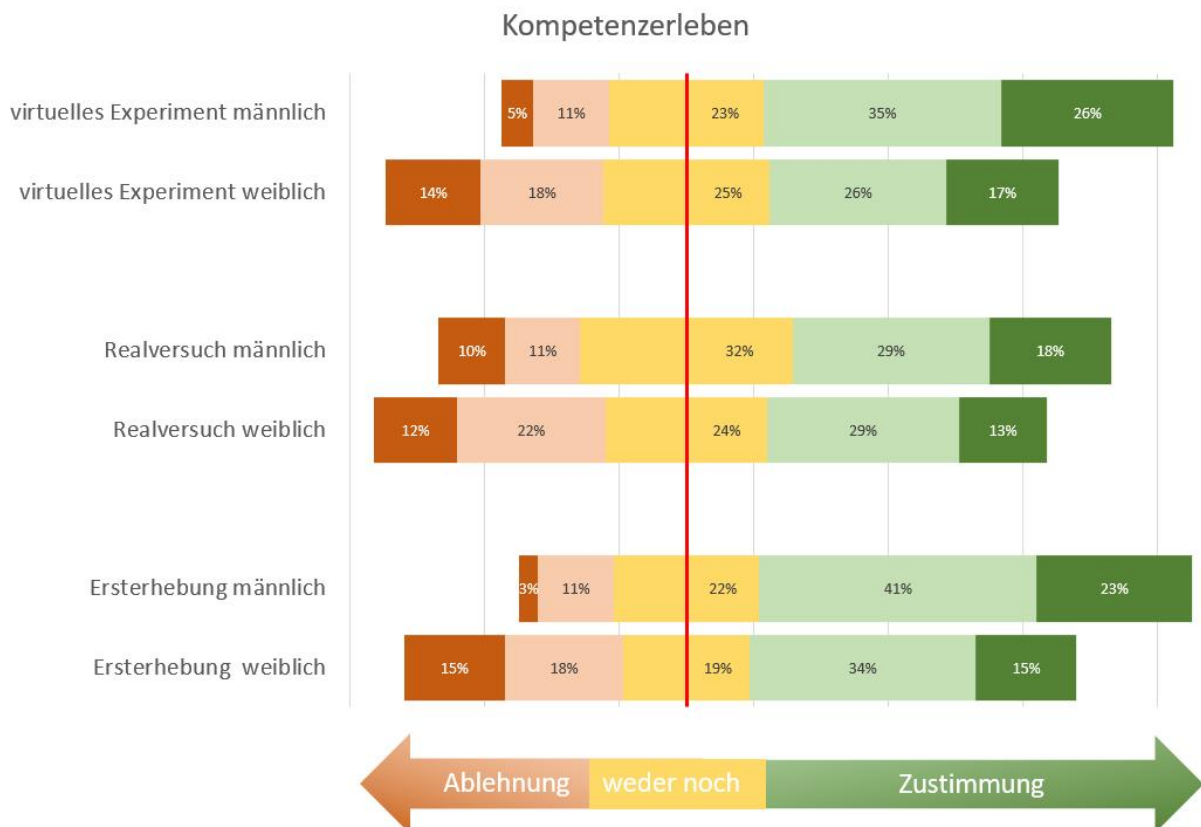
Bezüglich des Autonomieerlebens lässt sich nun auch eindeutig festhalten, dass die Alternativhypothese „Im Vergleich zu real durchgeführten Schülerinnen- und Schülerversuchen haben die Lernenden im Physikunterricht der Sekundarstufe I bei virtuellen Versuchen ein größeres Autonomieerleben“ angenommen wird. Die Nullhypothese ist abzulehnen.

Hypothese 7: Autonomieerleben							
		Gesamt	Fehlend	\bar{x}	gültig	σ	σ^2
Ersterhebung	2. Klasse	143	14	3.67	129	1.02	1.05
	3. Klasse	119	26	3.58	93	.98	.96
	4. Klasse	136	58	3.04	78	1.24	1.54
Realversuch	2. Klasse	150	7	3.98	143	.96	.92
	3. Klasse	115	14	3.59	101	1.11	1.24
	4. Klasse	141	4	2.98	137	1.27	1.61
Virtuelles Experiment	2. Klasse	155	2	4.26	153	.89	.79
	3. Klasse	117	5	4.02	112	1.09	1.18
	4. Klasse	135	13	3.49	122	1.17	1.37

Tabelle 24: Deskriptive Statistiken zu Hypothese 7

6.7 Hypothese 8, Kompetenzerleben

Die Mädchen der Sekundarstufe I weisen im Vergleich zu ihren männlichen Kollegen wesentlich niedrigere Werte beim Erleben eigener Kompetenz auf. Bereits bei der Ersterhebung besteht ein höchst signifikanter Unterschied (Welch-Test: $F(1,328) = 16.563$, $p < .001$) zwischen den weiblichen und männlichen Teilnehmerinnen und Teilnehmern. Dieser Unterschied bleibt auch beim realen Versuch - $F(1,390) = 4.917$, $p = .027$ und beim virtuellen Experiment - $F(1,383) = 17.171$, $p < .001$ bestehen.



■ eindeutig nicht zutreffend, ■ nicht zutreffend, ■ weder noch, ■ zutreffend, ■ eindeutig zutreffend
 Die Prozentangaben geben die arithmetischen Mittelwerte der Dimension „Kompetenzerleben“ wieder.

Abbildung 78: Kompetenzerleben nach Geschlecht

Die folgenden Abbildungen geben die Verteilung der Daten nach Schulklassen und Versuchsart in übersichtlicher Form wieder:

Ergebnisse und Diskussion

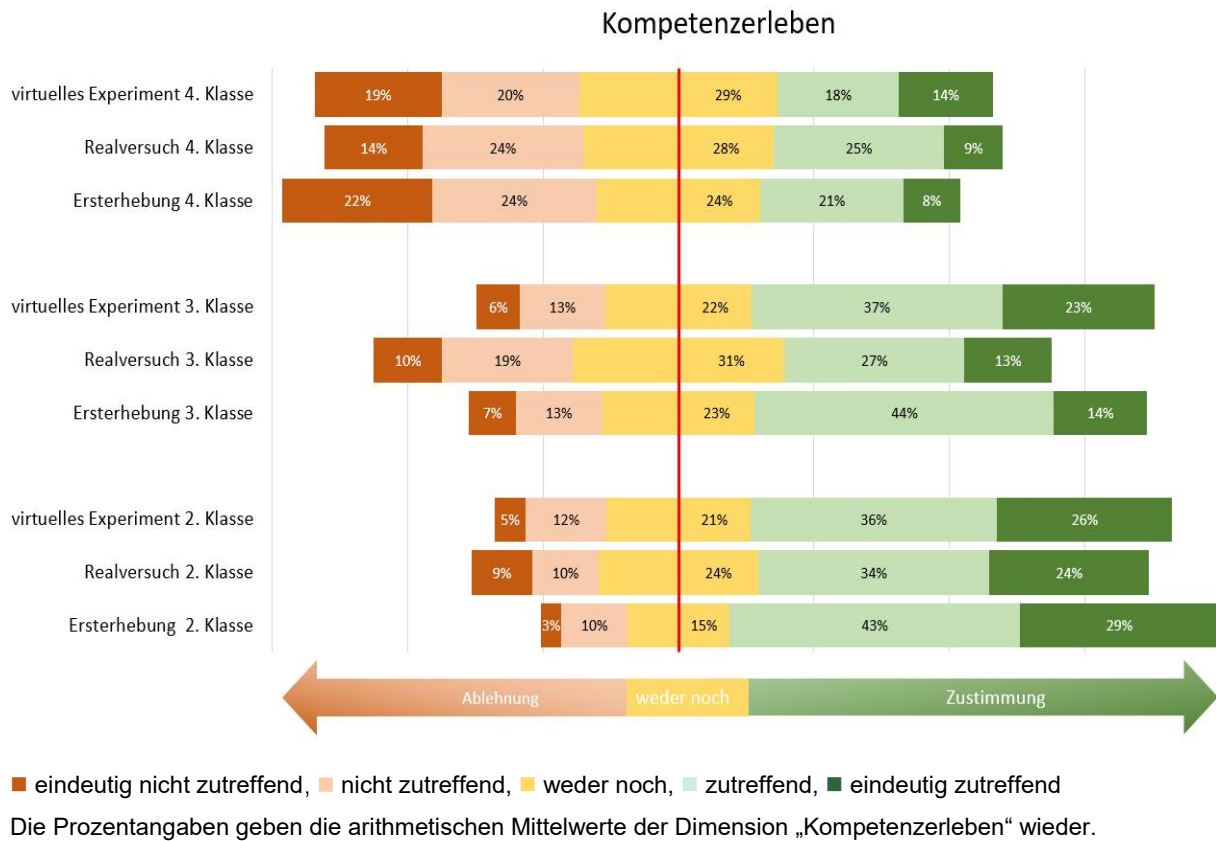


Abbildung 79: Kompetenzerleben nach Schulklassen

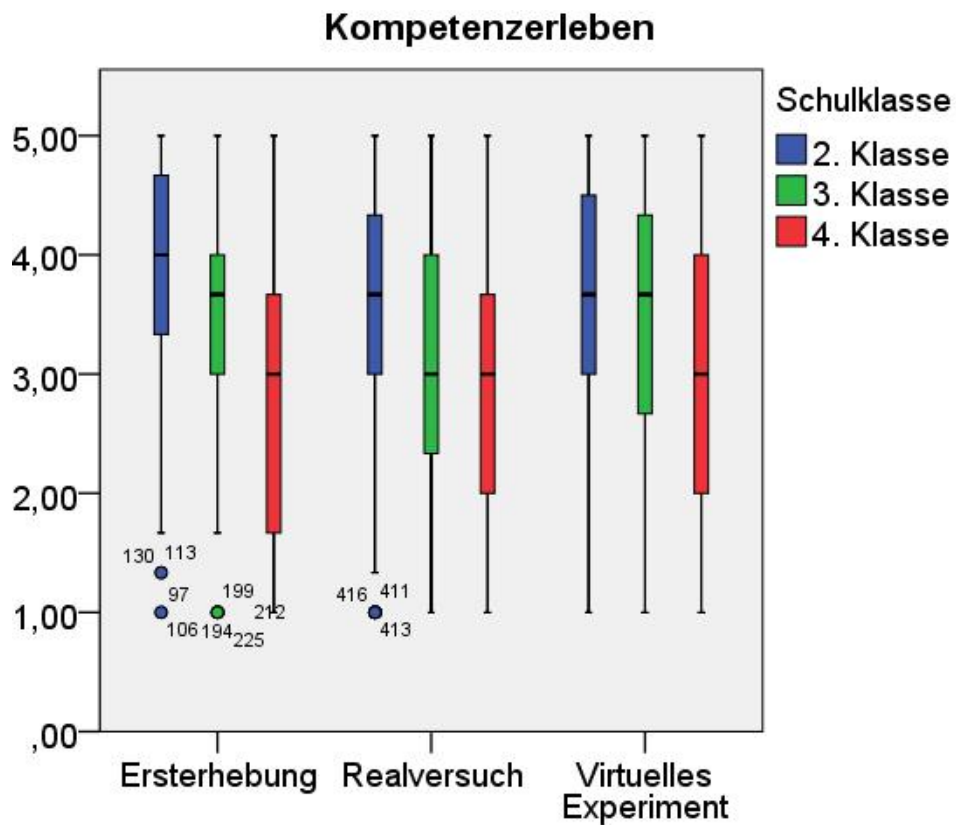


Abbildung 80: Kompetenzerleben nach Schulklassen, Boxplot

Bezüglich der Schulklassen zeigt sich ein interessantes Bild. So ergibt sich bereits aus der Ersterhebung, dass das Gefühl von Kompetenz mit jedem Schuljahr signifikant¹⁵⁵ (Welch-Test: $p = .008^{156}$) oder sogar höchst signifikant (Welch-Test: $p < .001^{157}$)¹⁵⁸ rückläufig ist. Wie bereits in den vorhergegangenen Hypothesentests erwähnt, ist auch hier mangels Varianzhomogenität der Welch-Test das bevorzugte Testinstrument. Ergänzend wird hier der robuste Games-Howell Post-hoc-Test für die Gruppenvergleiche herangezogen (vgl. Eckstein, 2016, S. 148).

Beim Realversuch ist dieser Rückgang nur von der 2. zur 3. Klasse signifikant (Welch-Test: $p = .010^{159}$) beobachtbar. Von der 3. zur 4. Klasse tritt dieser Effekt nicht mehr auf (Welch-Test: $p = .366^{160}$). Beim virtuellen Experiment ist die Sachlage genau umgekehrt, denn hier besteht zwischen der 2. und 3. Klasse keine Signifikanz (Welch-Test: $p = .735^{161}$), jedoch tritt von der 3. zur 4. Klasse dieser Unterschied dann höchst signifikant (Welch-Test: $p < .001^{162}$) auf.

Erstaunlicherweise zeigt sich für jede Klasse der Grad des Kompetenzerlebens in Abhängigkeit von der Testungsart unterschiedlich: In der zweiten Klasse fühlen die getesteten Personen den höchsten Grad von Kompetenzerleben bei der Basistestung gefolgt vom virtuellem Experiment und vom Realversuch. Festzuhalten ist aber auch, dass weder zwischen Ersterhebung und virtuellem Experiment ($p = .339^{163}$) noch zwischen virtuellem Experiment und Realversuch ($p = .535^{164}$) signifikante Werte auftreten. In der dritten Klasse zeigt das virtuelle Experiment den höchsten Grad an Kompetenzerleben, gefolgt von der Ersterhebung und dem Realversuch. Auch hier besteht zwischen Ersterhebung und virtuellem Experiment ($p = .714^{165}$) sowie zwischen Ersterhebung und Realversuch ($p = .071^{166}$) kein signifikanter Unterschied.

¹⁵⁵ 2. zu 3. Klasse

¹⁵⁶ Games-Howell Post-hoc-Test (.4039, 95%-CI [.0866, .7211])

¹⁵⁷ Games-Howell Post-hoc-Test (.7250, 95%-CI [.3361, 1.1138])

¹⁵⁸ 3. zu 4. Klasse

¹⁵⁹ Games-Howell Post-hoc-Test (.4271, 95%-CI [.0865, .7677])

¹⁶⁰ Games-Howell Post-hoc-Test (.1971, 95%-CI [-.1457, .5400])

¹⁶¹ Games-Howell Post-hoc-Test (.1048, 95%-CI [-.2255, .4350])

¹⁶² Games-Howell Post-hoc-Test (.6721, 95%-CI [.2965, 1.0478])

¹⁶³ Tukey Post-hoc-Test (.1803, 95%-CI [-.1215, .4820])

¹⁶⁴ Tukey Post-hoc-Test (.1341, 95%-CI [-.1615, .4296])

¹⁶⁵ Tukey Post-hoc-Test (.1188, 95%-CI [-.2390, .4767])

¹⁶⁶ Tukey Post-hoc-Test (.3376, 95%-CI [-.0219, .6970])

Zwischen Realversuch und virtuellem Experiment ($p = .007$)¹⁶⁷ ist aber ein signifikanter Unterschied zu erkennen. In der vierten Klasse liegen die Werte für das Kompetenzerleben wieder in einer anderen Reihenfolge vor. Hier weist der Realversuch knapp gefolgt vom virtuellem Experiment die höchsten Werte auf. An letzter Stelle liegt die Ersterhebung. Aber hier liegen zwischen Realversuch und virtuellem Experiment ($p = .992$)¹⁶⁸ und zwischen Realversuch und Ersterhebung ($p = .474$)¹⁶⁹ keine signifikanten Abstände vor.

Für den Hypothesentest werden wieder alle Klassen der Sekundarstufe I gemeinsam betrachtet. Hier zeigt sich, dass die Ersterhebung signifikant besser abschneidet ($p = .043$)¹⁷⁰ als der reale Versuch. Das virtuelle Experiment schneidet signifikant besser ($p = .044$)¹⁷¹ als der Realversuch, jedoch nicht signifikant besser als die Basistestung ($p = .994$)¹⁷² ab. Da die Hypothesentestung jedoch nur den Unterschied zwischen realem und virtuellem Versuch gegenüberstellt, muss auch hier die Nullhypothese verworfen werden.

¹⁶⁷ Tukey Post-hoc-Test (.4564, 95%-CI[-.0219, .6970])

¹⁶⁸ Tukey Post-hoc-Test (-.0186, 95%-CI[-.3385, .3757])

¹⁶⁹ Tukey Post-hoc-Test (.1902, 95%-CI[-.1937, .5742])

¹⁷⁰ Tukey Post-hoc-Test (.2047, 95%-CI[.0054, .4039])

¹⁷¹ Tukey Post-hoc-Test (.1958, 95%-CI[.0044, .3872])

¹⁷² Tukey Post-hoc-Test (-.0089, 95%-CI[.1046, .8082])

Dieser Zusammenhang wird im folgenden Liniendiagramm verdeutlicht:

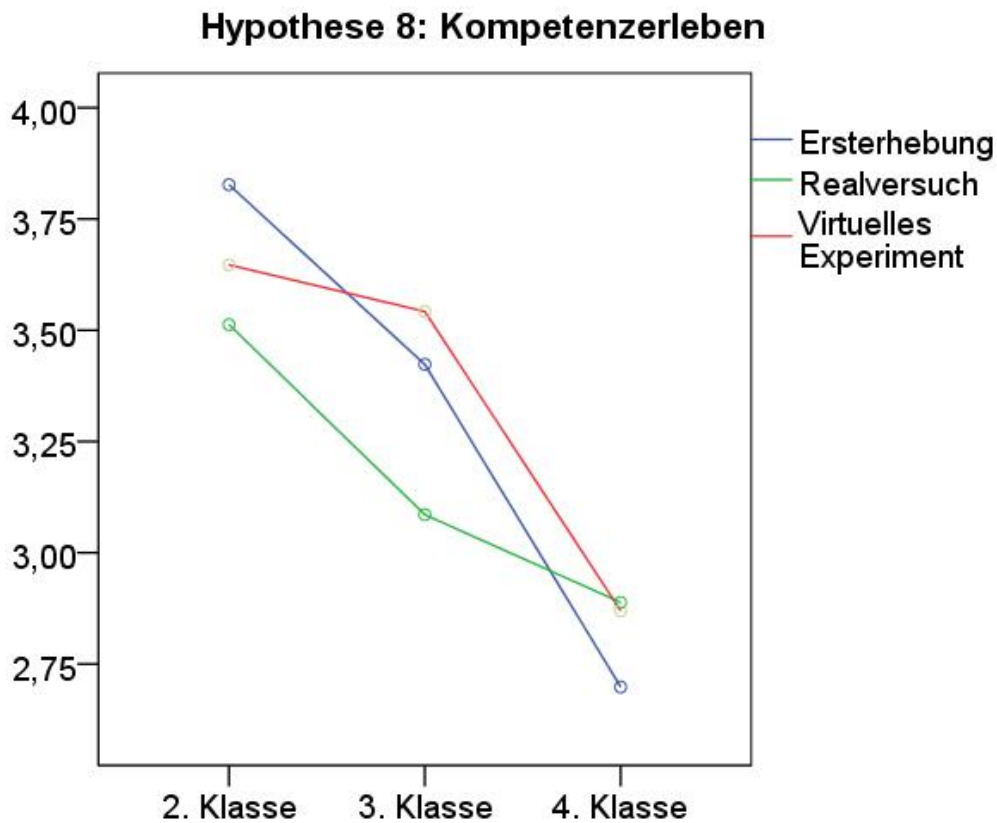


Abbildung 81: Profildiagramm Kompetenzerleben:

Auch bei dieser Hypothese wird zur Qualitätssteigerung zusätzlich der nonparametrische Kruskal-Wallis-Test durchgeführt.

Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
Die Verteilung von Hypothese 8 (Kompetenzerleben) ist über Kategorien von Ersterhebung, Realversuch, virtueller Versuch gleich.	Kruskal-Wallis-Test	.013	Nullhypothese ablehnen.

Tabelle 25: Nichtparametrischer Hypothesentest, Kompetenzerleben

Die folgende Abbildung (Boxplot-Vergleich) verdeutlicht die statistischen Unterschiede zwischen realem und virtuellem Experiment.

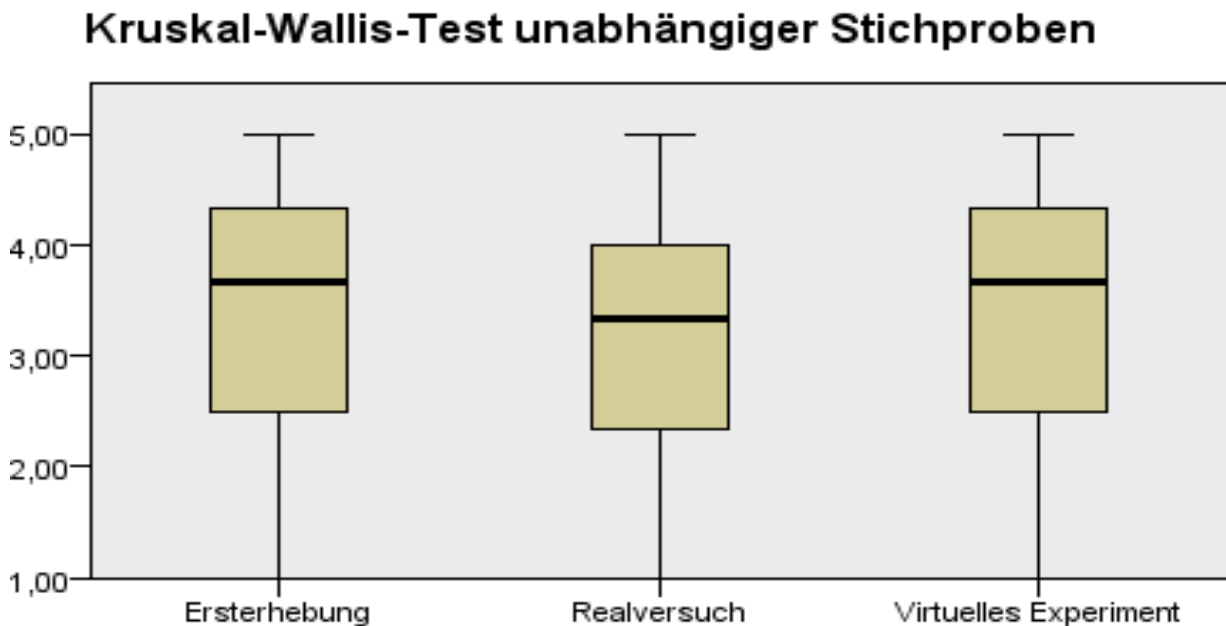


Abbildung 82: Boxplotvergleich Kompetenzerleben

Die Alternativhypothese „Im Vergleich zu real durchgeführten Schülerinnen- und Schülerversuchen haben die Lernenden im Physikunterricht der Sekundarstufe I bei virtuellen Versuchen ein größeres Kompetenzerleben“ wird als signifikant angenommen.

Hypothese 8: Kompetenzerleben							
		Gesamt	Fehlend	\bar{x}	gültig	σ	σ^2
Ersterhebung	2. Klasse	143	10	3,83	133	,99	,99
	3. Klasse	119	17	3,42	102	1,04	1,09
	4. Klasse	136	41	2,70	95	1,25	1,56
Realversuch	2. Klasse	150	6	3,51	144	1,16	1,35
	3. Klasse	115	6	3,09	109	1,12	1,25
	4. Klasse	141	2	2,89	139	1,16	1,34
Virtuelles Experiment	2. Klasse	155	4	3,65	151	1,07	1,15
	3. Klasse	117	6	3,54	111	1,15	1,33
	4. Klasse	135	12	2,87	123	1,28	1,64

Tabelle 26: Deskriptive Statistiken zu Hypothese 8

7 Ausblick

Zentrales Bestreben der vorliegenden Arbeit ist es, auf die geänderten Voraussetzungen und rasanten Entwicklungen im Bildungsbereich Bezug zu nehmen. Die Innovationen der letzten 40 Jahre stellten die Akteurinnen und Akteure im Schulalltag vor große Herausforderungen. Wurde in den 1970er Jahren der Computer im Fachunterricht noch vereinzelt und wenig erfolgreich eingesetzt, so hat er sich in den 1980er Jahren in der Erwachsenenbildung etabliert. Ende der 1980er Jahre fand das rechnergestützte Lernen dann auch Einzug in den Schulunterricht und somit auch in die Sekundarstufe I. Diese Entwicklung schritt unaufhörlich voran, inzwischen sind „webbasiertes E-Learning, mobiles Lernen und die Nutzung von Web-2.0-Technologien“ (Eickelmann, 2010a, S. 28) im schulischen Lernen nicht mehr wegzudenken (vgl. Eickelmann, 2010a, S. 27 f.; Grimm, 2015, S. 17). Es ist abzusehen, dass der Einsatz von Animationen und sogar virtuellen Realitäten in den nächsten Jahren Auswirkungen auf den Unterricht haben wird. Durch virtuelle Szenarien werden die Schülerinnen und Schüler hautnah in das Lerngeschehen miteinbezogen. Lorenz (1995, S. 304) geht davon aus, „dass Informationsgewinnung und interaktives Lernen [...] die verbreitetsten Einsatzbereiche multimedialer Anwendungen in der Schule darstellen.“ Aus diesem Grund sind gerade „Pädagogen [und] Psychologen [...] [gefordert] über Vorteile und Nachteile zu diskutieren [...]“ (ebd., S. 304)

Die vorliegende Forschungsarbeit setzt genau bei dieser Forderung an und evaluiert sowohl die Leistungs- als auch die Lernmotivation bei der Durchführung von virtuellen Versuchen im Physikunterricht.

In der aktuellen Literatur wird die Verwendung von Computern bzw. digitalen Geräten durchaus kontrovers diskutiert. Lembke und Leipner (2016, S. 137f.) sind unter anderem der Meinung, dass „eine Kindheit ohne Computer [...] [d]er beste Start ins digitale Zeitalter [ist]“, dass es kontraproduktiv ist, den Umgang mit Computern in der Schule zu forcieren und dass jemand der „die Wahl zwischen realen und virtuellen Hilfsmitteln hat, [...] sich für die Realität entscheiden – und auf E-Learning so oft wie möglich verzichten [sollte].“ Im Gegensatz dazu steht die Meinung von Eickelmann (2010b, S. 41), denn sie geht davon aus, dass Schülerinnen und Schüler ohne

ausreichenden Zugang zu digitalen Medien erhebliche Schwierigkeiten haben, sich später in die Arbeitswelt einzugliedern. Für diese Ungleichheiten verwendet sie den Terminus „digital divides“. Daher sieht sie die Aufgabe der Schule darin, „diesen Entwicklungen entgegenzuwirken und notwendige Kompetenzen zu vermitteln“. (ebd., S. 41)

Wie auch Wampfler (2016, S. 125) ist der Autor der vorliegenden Studie der Ansicht, dass der Medienwandel nicht ignoriert werden darf, sondern didaktisch sinnvoll in das Unterrichtsgeschehen eingebaut werden sollte.

Die in dieser Arbeit vorgestellten virtuellen Experimente geben einen Ansatzpunkt für den didaktisch überlegten Einsatzbereich im Physikunterricht der Sekundarstufe I. Da diese Studie eindeutig belegt, dass die Schülerinnen und Schüler durch den Einsatz von Experimenten am Computer einen Motivationsanstieg erfahren, besteht wissenschaftliche Notwendigkeit, die Forschung in diese Richtung weiter zu betreiben. Dabei sollte der Fokus auf den pädagogischen Einsatz von „Neuen Technologien“ gelegt werden und auch auf den Umstand Bezug genommen werden, dass durch Tablets, Computer oder Handys schulisches und privates Lernen vermischt werden (vgl. Wampfler, 2016, S. 125). Auch in diese Richtung besteht dringender Forschungsbedarf, denn das nachfolgende Diagramm zeigt außerhalb der Unterrichtszeit (von 08.00¹⁷³ bis 16.00¹⁷⁴ Uhr) viele Zugriffe auf die Homepage¹⁷⁵ des Autors, auf der virtuelle Versuche frei zur Verfügung gestellt wurden. Die Schülerinnen und Schüler waren nicht darüber informiert, dass die Anzahl der Zugriffe dokumentiert wird. Die Menge der Zugriffe ist also rein persönlich motiviert und nicht durch den besonderen Gehorsam der Lehrkraft gegenüber begründet.

Die Auswertung der Zugriffe erfolgte mit dem Onlinedienst Google Analytics, welcher sowohl die Häufigkeit als auch Verweildauer protokollierte. Zur professionelleren Auswertung wurden benutzerdefinierte Berichte eingerichtet.

Ein weiteres Problem besteht darin, dass nicht ausgeschlossen werden kann, dass auch die unterrichteten Lehrpersonen auf die Seite zugegriffen haben.

¹⁷³ 120 Zugriffe vor 8.00

¹⁷⁴ 130 Zugriffe nach 16.00

¹⁷⁵ www.mr-berger.at

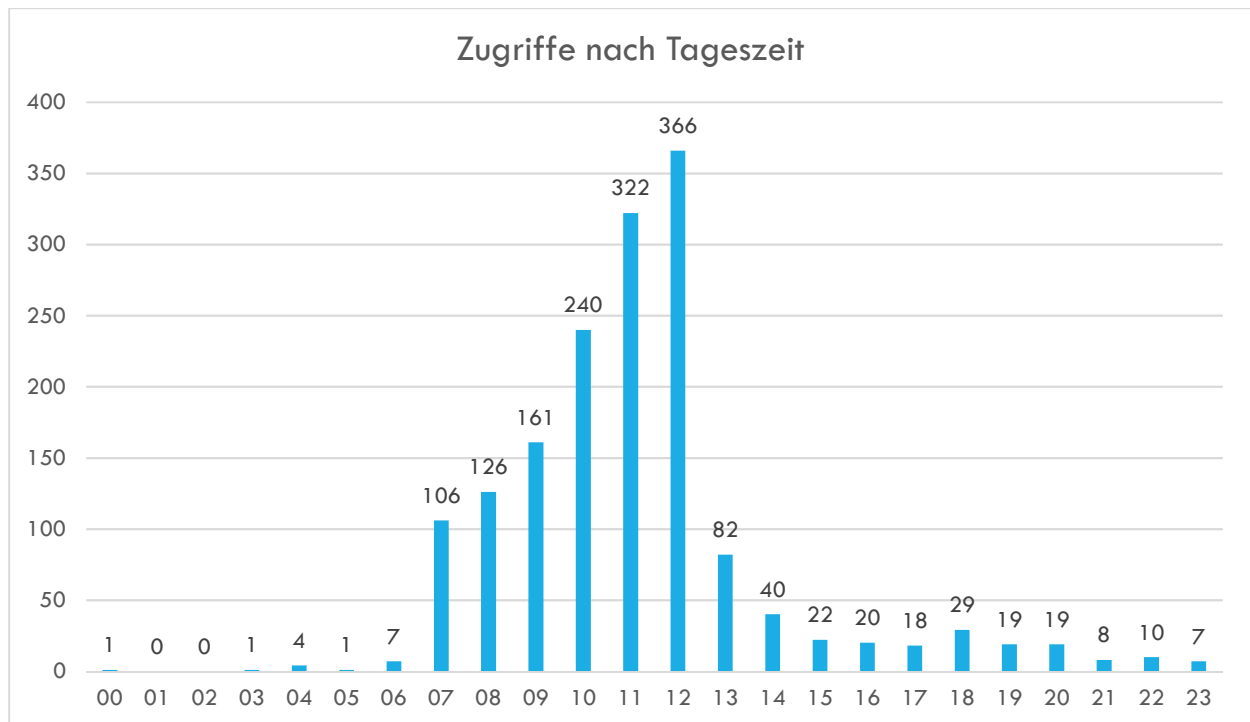


Abbildung 83: Zugriffe nach Tageszeit

Diese Darstellung veranschaulicht, dass in der Zeit, in der virtuelle Versuche im Unterricht angeboten wurden (13.02.–30.06.2017), an den Nachmittagen immer wieder aus privatem Interesse auf die Versuche zugegriffen wurde.

Bei dieser Erhebung wurden nur Zugriffe außerhalb der Schulzeiten (also vor 08.00 Uhr und nach 16.00 Uhr) mit Sicherheit der unterrichtsfreien Zeit zugeordnet. Mehrheitlich haben die getesteten Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I aber nur an ein bis zwei Tagen Nachmittagsunterricht, an den anderen Tagen endet der Unterricht bereits um zirka 13.00 Uhr. Die Zahl der freiwilligen Zugriffe (intrinsische Motivation) auf die virtuellen Experimente dürfte also noch um einiges höher sein. An einigen der Schulen, an denen Testungen stattfanden, gibt es an Schultagen mit Nachmittagsunterricht eine Mittagspause in der Zeit von 12.00 bis 13.00 Uhr. Diese Zeitspanne müsste eigentlich auch zur unterrichtsfreien Zeit gerechnet werden. Gerade hier gab es wiederum hohe Zugriffszahlen. Eine genaue Auswertung dieser Daten unter Berücksichtigung der täglichen Unterrichtszeiten an den verschiedenen Schulen würde das vermehrte Interesse an diesem Lernangebot noch schärfer abbilden. Diese Auswertung ist aber aufgrund der Anonymisierung der Daten nicht möglich.

Ausblick

Aus folgender Darstellung geht hervor, dass 32 Lernende der Sekundarstufe I auch am Wochenende auf die Homepage zugegriffen haben und so motiviert waren, dass sie sogar diese freie Zeit für das Fach Physik nutzten.

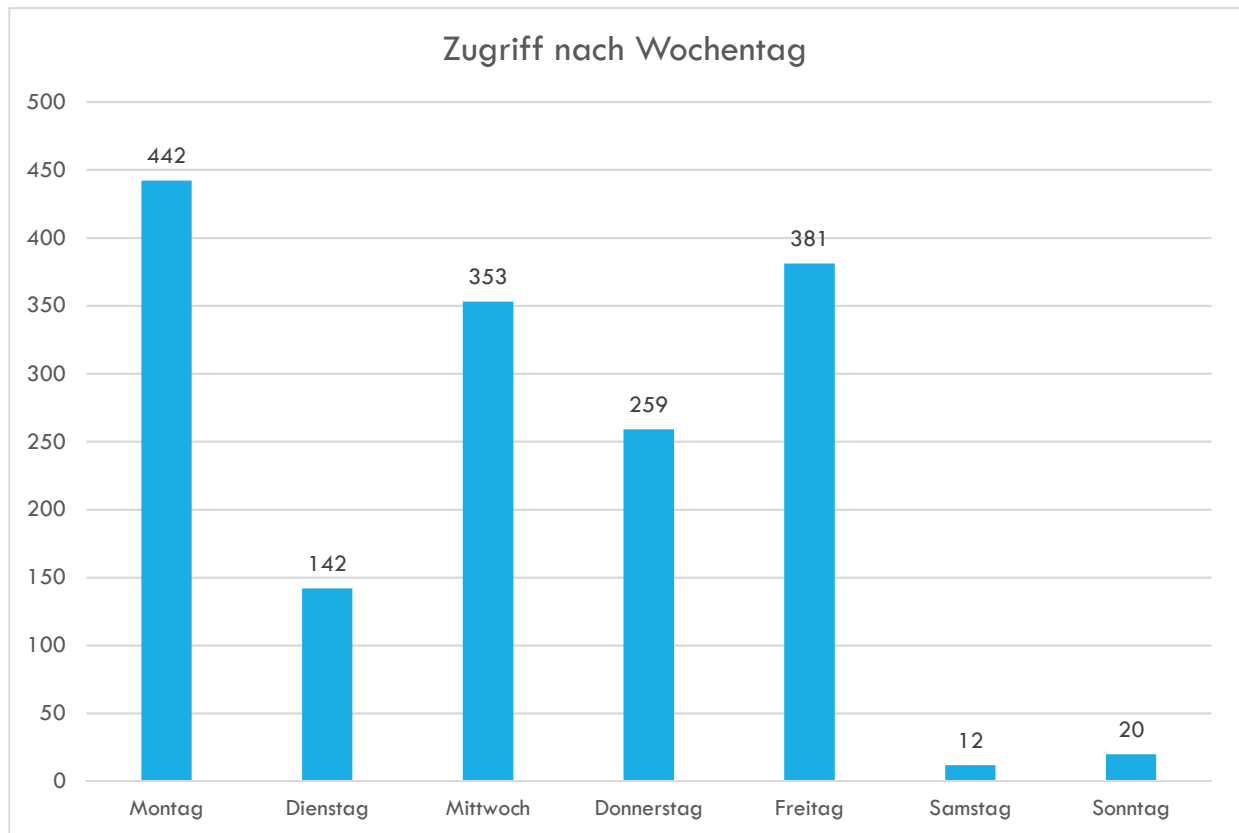


Abbildung 84: Zugriffe nach Wochentag

Neben der Aufschlüsselung der Zugriffe nach Wochentag und Tageszeit macht auch die Art der verwendeten Endgeräte deutlich, dass weiterer Forschungsbedarf unter Einbeziehung des privaten Mediengebrauchs gegeben ist. Die auf die vorliegende Studie bezogenen Testungen wurden in der Schule nur auf Standgeräten (= Desktop-PCs) durchgeführt. Wenngleich davon auszugehen ist, dass viele Zugriffe mittels Standgeräten von zuhause aus getätigt wurden, lässt die Verwendung von Tablets und Handys direkt auf das private Interesse der Lernenden schließen.

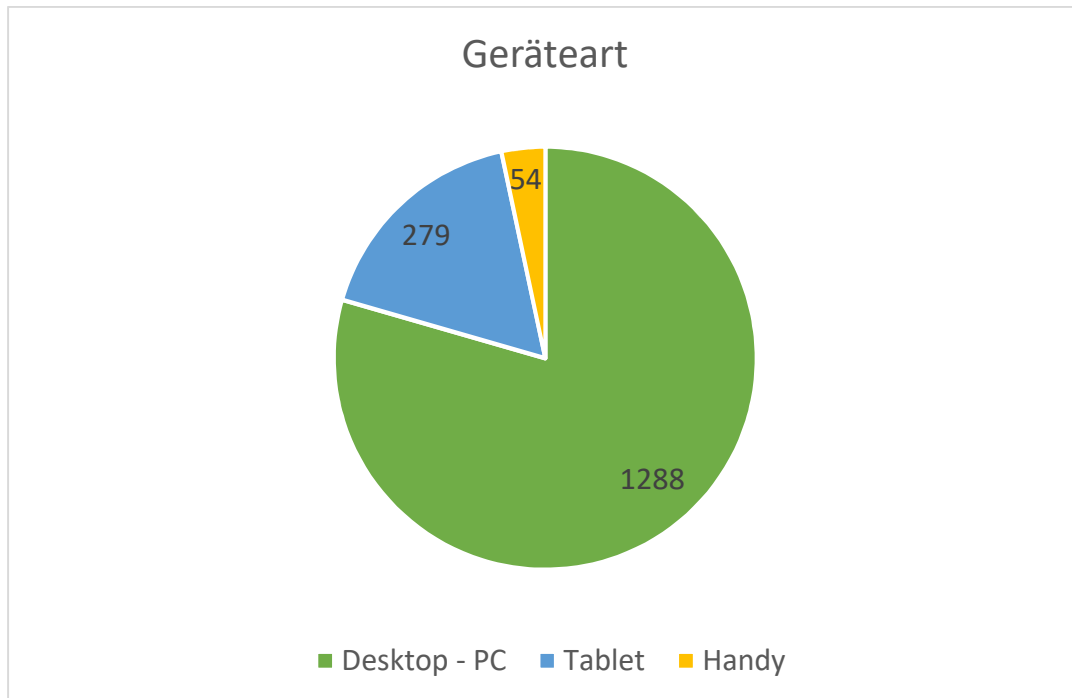


Abbildung 85: Zugriffe nach Geräteart

Die durchschnittliche Verweildauer der Schülerinnen und Schüler auf der Homepage des Autors betrug 8 Minuten 22 Sekunden und entsprach der Durchführung eines Versuches. Dies zeigt ebenfalls, dass an den Experimenten ein aufrichtiges persönliches Interesse bestand.

Dass die Forschung unbedingt weiter vorangetrieben werden sollte, wird auch durch 64 freiwillige Rückmeldungen zum Thema virtuelle Experimente im Gästebuch dieser Homepage untermauert. (Stand Anfang Mai 2017) Einige sollten hier exemplarisch angeführt werden:¹⁷⁶

¹⁷⁶ Die vollständige Liste findet sich im Anhang.

Sandra (Mittwoch, 19 April 2017 20:58)

Mir gefällt es sehr gut Versuche am Computer zu machen, weil man sie vielleicht besser versteht. Bei den Übungen und Spielen kann man vieles lernen. Immer wenn ich Zeit habe, besuche ich diese Seite. [sic!]

Celina (Dienstag, 04 April 2017 21:06)

Falls man in der Schule die Versuche nicht ganz versteht oder sich nicht gleich auskennt, finde ich es sehr gut zu Hause am PC die Versuche, Übungen oder Spiele sich nochmals anschauen zu können. Oft ist es durch Spiele auch leichter zu verstehen. Mir hat es sehr viel Spaß gemacht. Sogar meiner Schwester (9) gefiel es und sie probierte es auch gleich aus. [sic!]

Nahla (Donnerstag, 30 März 2017 13:03)

Ich mag diese Experimente am Computer lieber weil da nichts passieren kann. Heute wäre fast etwas explodiert. [sic!]

Armin (Montag, 27 März 2017 19:23)

Mir gefällt es Versuche am Computer zu machen weil ich es besser lernen kann und es mir Spaß macht. Ich finde das wir öfters solche versuche am Computer machen sollten. [sic!]

Lara (Freitag, 24 März 2017 09:43)

Ich finde Physik am Computer cooler, weil man am Ende nicht wegräumen muss :) [sic!]

Nico (Donnerstag, 23 März 2017 20:30)

Mir persönlich gefallen die Experimente im Physicsaal besser aber die virtuellen Experimente sind auch cool [sic!]

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie lassen den Schluss zu, dass die Interventionsgruppe – also jene Probandinnen und Probanden, die virtuelle Experimente durchführten – günstigere Motivationswerte aufwiesen, als jene mit real durchgeführten Versuchen. Die besseren Werte der Motivation ausschließlich auf die Intervention zurückzuführen wäre aber im derzeitigen Forschungsstadium verfrüht, da sich zum Beispiel die vorbildhafte Motivation der Lehrkräfte, die die Testungen bereitwillig unterstützt haben, auf die Schülerinnen und Schüler übertragen haben könnte.

Die hier erfassten positiven Motivationswerte sollen Anlass dafür geben, weitere Forschungsprojekte in Angriff zu nehmen. Dabei sollte der Fokus auch auf die Erarbeitung pädagogischer Konzepte unter Einbeziehung virtueller Experimente im Physikunterricht der Sekundarstufe I gelegt werden.

Die hier erlangten Ergebnisse dürfen jedoch nicht missinterpretiert werden: Das Vermeiden virtueller Experimente im Physikunterricht wäre genauso falsch wie der Verzicht auf Realversuche. Beide Versuchsarten stehen nicht in Konkurrenz, sondern ergänzen einander und sollten Teil jedes modernen Unterrichts sein.

8 Literaturverzeichnis

- Adams, T. (2012). Schülerexperimente im Chemie-Anfangsunterricht in der 8. Jahrgangsstufe. Eine empirische Untersuchung zum Einfluss auf Interesse und Motivation. In M. Imhof – ZBH (Hrsg.), *Bachelor-Arbeiten in Mainz* (S. 16-18). Mainz: Johannes Gutenberg-Universität.
- Akremit, L., Baur, N. & Fromm, S. (2011). *Datenanalyse mit SPSS für Fortgeschrittene 1: Datenaufbereitung und uni- und bivariate Statistik* (Vol. 1). Wiesbaden: Springer-Verlag.
- Albrecht, A. (2011). *Längsschnittstudie zur Identifikation von Risikofaktoren für einen erfolgreichen Studieneinstieg in das Fach Physik*. Berlin: Freie Universität.
- Allen, R. W., Porter, L. & Angle H. (2003). *Organizational Influence Processes*. New York: Library of Congress Cataloging-in-Publication Data.
- Alm, A. (2007). Motivationstheoretische Grundbedingungen für den erfolgreichen Einsatz von Neuen Medien im Fremdsprachenunterricht. <http://zif.spz.tu-darmstadt.de/jg-12-1/beitrag/Alm1.htm> (Letzter Zugriff: 09.02.2015)
- Altherr, S., Vetter, M., Eckert, B. & Jodl, H. J. (2005). Experimentieren aus der Ferne – Ferngesteuertes Labor im Internet (Remotely Controlled Laboratory–RCL). *Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule*, 6(54), 1-17.
- Anus, S. (2015). *Evaluation individueller Förderung im Chemieunterricht. Adaptivität von Lerninhalten an das Vorwissen von Lernenden am Beispiel des Basiskonzeptes Chemische Reaktion*. Berlin: Logos.

- Arn, C., Berger, G., Freimann, M., Frey, A., Gasser, R., Gerber, N., Kammermann, M., Müller, R., Murbach, G., Oesch, C., Reber-Wyss, M., Roevens, S., Schären, B., Schweizer, J., Schwendiman, R., Stüssi, R., Vogt, M., Walther, R. & Wild-Näf, M. (2004). *Erfahrungen mit E-Learning in der Berufsbildung: das Projekt ICT. SIBP-ISFPF. Schweizerisches Institut für Berufspädagogik*. Fraubrunnen: Druckerei Glauser AG.
- Arnold, P. (2005). Einsatz digitaler Medien in der Hochschullehre aus lerntheoretischer Sicht. <http://www.e-teaching.org/didaktik/theorie/lerntheorie/arnold.pdf> (Letzter Zugriff: 07.02.2015)
- Arnold, P., Kilian, L., Thillosen, A. & Zimmer, G. M. (2013). *Handbuch E-Learning: Lehren und Lernen mit digitalen Medien* (3. Auflage). Bielefeld: Bertelsmann.
- Asmussen, S. (2007). Interaktives Lernen an Stationen im Primarbereich. Eine zweistufige quasiexperimentelle Evaluationsstudie der Langzeitwirksamkeit eines naturwissenschaftlichen Bildungsprojektes. <http://www.zhb-flensburg.de/dissert/asmussen/Gesamt.pdf> (Letzter Zugriff: 30.05.2015)
- Asmussen, S. (2010). *Versuch macht klug. Eine Bildungsinitiative im Elementarbereich*. Gießen: Johannes Herrmann Verlag.
- Aspetsberger, B. (2003). Computerunterstütztes Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht eines Gymnasiums. In Plus Lucis. Verein zur Förderung des Physikalischen und Chemischen Unterrichts österreichische physikalische Gesellschaft - Fachausschuss Lehrer an Höheren Schulen (S. 7-19). Wien: Österreichische Physikalische Gesellschaft (ÖPG). <http://pluslucis.univie.ac.at/PlusLucis/031/s07.pdf> (Letzter Zugriff: 30.01.2015)
- Aufenanger, S. (1992). *Entwicklungspädagogik: die soziogenetische Perspektive*. Weinheim: Deutscher Studien Verlag.

- Bach, A. (2013). Warum steigt der Wasserspiegel in einem Glas, wenn ich es über eine Kerze stülpe, die in einer Wasserschale schwimmt? <http://www.wdr.de/tv/kopfball/sendungsbeitraege/2013/1020/hochwasser.jsp> (Letzter Zugriff: 11.05.2015)
- Bachmann, G. (2009). *Zielorientierungen und aktuelle Motivation: eine Integration im Kontext des selbstregulierten Lernens*. Frankfurt: Peter Lang.
- Badenhop, F., Busse, D. J., Jonczyk, A., Schimpf, M. & Siedentopf, J. (2013). Intrinsische und extrinsische Motivation von Studierenden der Hochschule Hannover: Messung an den Fakultäten III und IV. <http://serwiss.bib.hs-hannover.de/frontdoor/index/index/docId/347> (Letzter Zugriff: 02.10.2015)
- Bannwarth, H., Kremer, B. P. & Schulz, A. (2013). *Basiswissen Physik, Chemie und Biochemie: Vom Atom bis zur Atmung - für Biologen, Mediziner und Pharmazeuten*. Heidelberg: Springer-Verlag.
- Barke, H.-D. & Harsch, G. (2011). *Chemiedidaktik Heute: Lernprozesse in Theorie und Praxis*. Berlin: Springer-Verlag.
- Barth, D. (2009). *Prognoseberichterstattung: Praxis, Determinanten und Kapitalmarktwirkungen bei deutschen börsennotierten Unternehmen* (Vol. 1). Münster: Peter Lang.
- Bartosch, I. (2011). *Entwicklung weiblicher Geschlechtsidentität und Lernen von Physik – ein Widerspruch? Physik lernen als Entwicklung einer physikbezogenen Identität*. Münster: Waxmann.
- Barzel, B., Reinhoffer, B. & Schrenk, M. (2012). Das Experimentieren im Unterricht. In W. Rieß, M. Wirtz, B. Barzel & A. Schulz (Hrsg.), *Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht. Schüler lernen wissenschaftlich denken und arbeiten* (S. 103-127). Münster: Waxmann.
- Batinic, B. & Appel, M. (2008). *Medienpsychologie*. Heidelberg: Springer.

- Bätz, K., Beck, L., Kramer, L., Niestradt, J. & Wilde, M. (2009). Wie beeinflusst Schülermitbestimmung im Biologieunterricht intrinsische Motivation und Wissenserwerb? *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 15, 307-323.
- Bauer, W. H. (2013). *Entwicklung eines Systems zur virtuellen ergonomischen Arbeitsgestaltung*. Berlin: Springer-Verlag.
- Baumgartner P. (2008). Blended Learning Arrangements. http://www.donau-uni.ac.at/imperia/md/content/departement/imb/forschung/publikationen/baumgartner_b_lended_2008.pdf (Letzter Zugriff: 05.03.2015)
- Baumgartner, P. (2003). E-Learning. Lerntheorien und Lernwerkzeuge. https://homepage.univie.ac.at/Christian.Sitte/FD/artikel/Baumgartner_e-learning_oezb3a_02_03.pdf (Letzter Zugriff: 13.02.2015)
- Baumgartner, P., Häfele, H. & Maier-Häfele, K. (2004). *Content Management Systeme in e-Education: Auswahl, Potenziale und Einsatzmöglichkeiten* (1. Auflage) Innsbruck: Studien Verlag.
- Baur, N. & Fromm, S. (2008). *Datenanalyse mit SPSS für Fortgeschrittene: ein Arbeitsbuch*. Wiesbaden: Springer-Verlag.
- Bender, U. & Keller, S. (2012). Fazit: Lernen durch Aufgaben. In S. Keller & U. Bender (Hrsg.), *Aufgabenkulturen. Fachliche Lernprozesse herausfordern, begleiten, reflektieren* (S. 300-309). Seelze: Klett & Kallmeyer.
- Benesch, T. (2012). *Schlüsselkonzepte zur Statistik: die wichtigsten Methoden, Verteilungen, Tests anschaulich erklärt*. Berlin: Spektrum Akademischer Verlag.
- Bente, G., Krämer, N. C. & Petersen, A. (2002). *Virtuelle Realitäten*. Göttingen: Hogrefe Verlag.
- Bentlage, M. (2003). *Internet: Chancen und Risiken des neuen interaktiven Mediums für die pädagogische Arbeit in der Schule*. Hamburg: Diplomica Verlag GmbH.

- Berger, R. (2000). *Moderne bildgebende Verfahren der medizinischen Diagnostik - Ein Weg zu interessantem Physikunterricht*. Berlin: Logos Verlag.
- Berger, R. (2002). Einfluss kontextorientierten Physikunterrichts auf das Interesse und Leistung in der Sekundarstufe II. *Zeitschrift für Didaktik und Naturwissenschaften*. Jg. 8, 119-132. ftp://134.245.122.90/pub/ipn/zfdn/2002/S.119-131_Berger_2002.pdf (Letzter Zugriff: 13.03.2016)
- Berger, V. (2006). Im Physikunterricht experimentieren. In H. F. Mikelskis (Hrsg.), *Fachdidaktik: Physik-Didaktik: Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II* (S. 149-178). Berlin: Cornelsen.
- Berking, M. & Rief, W. (2012). *Klinische Psychologie und Psychotherapie für Bachelor*. Berlin: Springer.
- Bernholt, S. (2012). *Konzepte fachdidaktischer Strukturierung für den Unterricht*. Berlin: Lit-Verlag.
- Bigl, B. (2016). *Virtuelle Computerspielwelten: Rezeption und Transfer in dynamisch-transaktionaler Perspektive*. Köln: Halem Verlag.
- BITKOM Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und Neue Medien e.V. (2011). Presseinformation – Presseinformation Hannover. http://www.bitkom.org/files/documents/BITKOM_Publikation_Schule_2.0.pdf (Letzter Zugriff: 07.02.2015)
- Blanz, M. (2015). *Forschungsmethoden und Statistik für die Soziale Arbeit: Grundlagen und Anwendungen*. Stuttgart: Kohlhammer Verlag.
- Blažek, J., Kranz, R., Loidold, S., Heerdegen-Leitner, M. & Heerdegen, A. (2008). Mehr Effizienz durch Neue Medien im Mathematik-und Physikunterricht in der 6. Schulstufe der KMS. https://www.imst.ac.at/imst-wiki/images/8/8b/832_Langfassung_Blazek.pdf (Letzter Zugriff: 13.08.2017)

- Blömeke, S. (2003). Lehren und Lernen mit Neuen Medien. Forschungsstand und Forschungsperspektiven. *Unterrichtswissenschaft*, 31(2003), 57-82.
- Boehringer, D., Scheuschner, N. & Jetter, M. (2011). Ferngesteuerte und virtuelle Experimente im universitären Physikunterricht. http://www.dpg-physik.de/dpg/gliederung/ag/agi/dokumente/Dresden_2011/dresden2011-agi-agjdpdpg_1_2.pdf (Letzter Zugriff 16.03.2011)
- Bolte, C. (2003). Förderung naturwissenschaftlicher Bildung durch außerschulische und schulische Bildungsangebote. In A. Pitton (Hrsg.), *Außerschulisches Lernen in Physik und Chemie* (S. 33-49). Münster: LIT-Verlag.
- Bombelka-Urner, W. & Koch-Priewe, B. (1991). "Im Labyrinth der Lernprogramme" – oder warum reicht Lernsoftware allein nicht aus? In P. Gorny (Hrsg.), *Informatik und Schule 1991* (S. 193-201). Oldenburg: Springer-Verlag.
- Borcea-Pfitzmann, K. (2009). Framework für die Entwicklung einer universellen kollaborativen eLearning-Plattform. <http://www.qucosa.de/fileadmin/data/qucosa/documents/374/1237287991632-2707.pdf> (Letzter Zugriff: 07.05.2015)
- Bortz, J. & Döring, N. (2015). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler*. Heidelberg: Springer.
- Bortz, J. & Lienert, G. A. (2008). *Kurzgefasste Statistik für die klinische Forschung: Leitfaden für die verteilungsfreie Analyse kleiner Stichproben*. Heidelberg: Springer-Verlag.
- Bortz, J. & Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler* (7. vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage). Berlin: Springer.
- Bortz, J., Lienert, G. A. & Boehnke, K. (2008). *Verteilungsfreie Methoden in der Biostatistik* (3. Auflage). Heidelberg: Springer.

- Bos, W. & Lorenz, R. (2015). Kapitel I. Schule digital – der Länderindikator 2015. Überblick und zentrale Ergebnisse. In W. Bos, R. Lorenz, M. Endberg, H. Schaumburg, R. Schulz-Zander & M. Senkbeil (Hrsg.), *Schule digital – der Länderindikator 2015. Vertiefende Analysen zur schulischen Nutzung digitaler Medien im Bundesländervergleich* (S. 1-19). Münster: Waxmann Verlag.
- Bösener, K. (2014). *Kundenzufriedenheit, Kundenbegeisterung und Kundenpreisverhalten: Empirische Studien zur Untersuchung der Wirkungszusammenhänge*. Wiesbaden: Springer-Verlag.
- Brandhofer, G. (2013). Lernen! Digital. Vernetzt? In P. Micheuz, A. Reiter, G. Brandhofer, M. Ebner & B. Sabitzer (Hrsg.), *25 Jahre Digitale Schule in Österreich. Eine analoge Standortbestimmung anlässlich der eEducation Sommertagung 2013* (S. 60-67). Wien: Österreichische Computer Gesellschaft.
- Brandt, R. (2013). Physik in den Jahrgangsstufen 7/8. Optik – Mechanik – Elektrik. Selbstständiges Lernen – Lernen an Stationen – Sprachförderung. http://www.schulphysik.de/downloads/HandreichungOptik_Arial.pdf (Letzter Zugriff: 15.11.2013)
- Bräunig, S. (2006). *Konzeption und Realisierung einer webbasierten Lernumgebung für die Signal-und Mustererkennung*. Ilmenau: Technische Universität.
- Brell, C. (2007). Lernmedien und Lernerfolg – reale und virtuelle Materialien im Physikunterricht. In H. Niedderer, H. Fischler & E. Sumfleth (Hrsg.), *Studien zum Physik- und Chemielernen* (Band 74). Berlin: Logos.
- Brell, C. (2008). *Lernmedien und Lernerfolg – reale und virtuelle Materialien im Physikunterricht: empirische Untersuchungen in achten Klassen an Gymnasien (Laborstudie) zum Computereinsatz mit Simulation und IBE*. Berlin: Logos-Verlag.
- Brígido, M., Bermejo, M. L., Conde, C. & Mellado, V. (2010). The emotions in teaching and learning nature sciences and physics/chemistry in pre-service primar teachers. *US-China Education Review*, 7(12), 25-32.

Brill, M. (2008). *Virtuelle Realität*. Heidelberg: Springer-Verlag.

Brockhaus Bilder-Conversations-Lexikon. Interesse. (2016). <http://www.zeno.org/Brockhaus-1837/A/Interesse> (Letzter Zugriff: 15.11.2016)

Bruhn, J. (1993). Probleme unserer Zeit als Herausforderung für den naturwissenschaftlichen Unterricht. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht* 46(4), 195-198.

Budischewski, K. & Kriens, K. (2015). *SPSS für Einsteiger: Einführung in die Statistiksoftware für die Psychologie. Mit Arbeitsmaterial zum Download* (1. Auflage). Weinheim, Basel: Beltz.

Bühl, A. (2016). *SPSS 23, Einführung in die moderne Datenanalyse* (15. Auflage). München: Pearson Studium.

Bühner, M. & Ziegler, M. (2009). *Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler*. München: Pearson Deutschland GmbH.

Bührmann, A. D., Diezinger, A. & Metz-Göckel, S. (2014). *Arbeit-Sozialisation-Sexualität: Zentrale Felder der Frauen-und Geschlechterforschung*. (3. Auflage). Wiesbaden: Springer-Verlag.

Bundesministerium für Bildung. (2016). Lehrpläne der AHS-Unterstufe. (BGBl. II Nr. 133/2000). https://www.bmb.gv.at/schulen/unterricht/lp/lp_ahs_unterstufe.html (Letzter Zugriff: 19.04.2017)

Bungartz, H.-J., Zimmer, S., Buchholz, M. & Pflüger, D. (2013). *Modellbildung und Simulation: Eine anwendungsorientierte Einführung*. (2. Auflage). Heidelberg: Springer-Verlag.

Busse, S. (2002). *Neue Medien in der Schule: Widersprüche – Perspektiven – Konsequenzen*. Norderstedt: BoD – Books on Demand.

- Büttner, G. (2007). Psychologische Aspekte von Lernen in der Schule. Arbeitspapier zum Thema: Lernen mit (neuen) Medien. [http://www1.uni-frankfurt.de/fb/fb05/psychologie/abteilungen_und_bereiche/pp/personen/buettner/lehre/Psychologische Aspekte von Lernen in der Schule Lernen /downloads/4 Lernen mit neuen Medien.pdf](http://www1.uni-frankfurt.de/fb/fb05/psychologie/abteilungen_und_bereiche/pp/personen/buettner/lehre/Psychologische_Aspekte_von_Lernen_in_der_Schule_Lernen_downloads/4_Lernen_mit_neuen_Medien.pdf) (Letzter Zugriff: 08.04.2017)
- Carstens, O. & Thalhofer, F. (2017). Duden. <http://www.duden.de/rechtschreibung/virtuell#Bedeutung> (Letzter Zugriff: 09.08.2017)
- Cauet, E. (2016). *Testen wir relevantes Wissen? Zusammenhang zwischen dem Professionswissen von Physiklehrkräften und gutem und erfolgreichem Unterrichten*. Berlin: Logos.
- Caulfield, J. (2011). *How to Design and Teach a Hybrid Course: Achieving Student-centered Learning Through Blended Classroom, Online, and Experiential Activities*. Virginia: Stylus Publishing, LLC.
- Correll, W. (2006). *Motivation und Überzeugung in Führung und Verkauf*. Heidelberg: Redline Wirtschaft / Süddeutscher Verlag / Mediengruppe.
- Csikszentmihalyi, M. (1975). *Beyond boredom and anxiety*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Csikszentmihalyi, M. (1996) *Das Flow-Erlebnis. Jenseits von Angst und Langeweile. Im Tun aufgehen*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Csikszentmihalyi, M. (2010). *Flow: das Geheimnis des Glücks*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Curcio, G.-P. (2008). *Verantwortungsmotivation zwischen Moralität und Gerechtigkeit*. Münster: Waxmann Verlag.
- Czepel, R. (2013). Experiment: Wiederholung unmöglich. ORF Wissenschaftsforschung. <http://science.orf.at/stories/1724292/> (Letzter Zugriff: 11.05.2015)

- Dähnhardt, D., Hillebrandt, D. & Euler, M. (2005). Lernort Labor – Zentrum für Beratung und Qualitätsentwicklung. In M. Euler (Hrsg.), *Naturwissenschaften im Unterricht Physik* (S. 29-30). Seelze: Friedrich Verlag.
- Dai, F. (2013). *Lebendige virtuelle Welten: Physikalisch-basierte Modelle in Computeranimation und virtueller Realität*. Darmstadt: Springer-Verlag.
- Damerau, K., Bätz, K. & Wilde, M. (2010). Kognitive und motivationale Auswirkungen unterschiedlicher Lernerperspektiven im Rahmen einer interaktiven Ausstellung zum Thema Fortbewegung bei Mensch und Tier. *Biologie Lehren und Lernen – Zeitschrift für Didaktik der Biologie*, 17(1), 41-61.
- Dangelmaier, W. & Laroque, Ch. (2014). Enzyklopädie der Wirtschaftsinformatik. Online-Lexikon. Simulation. <http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/lexikon/technologien-methoden/Operations-Research/Simulation/index.html> (Letzter Zugriff: 26.09.2014)
- DeCharms, R. & Prafulachandra, N. (1965). Hope of success, fear of failure, subjective probability and risk-taking behavior. *Journal of Personality and Social Psychology*, 1(6), 558-568.
- DeCharms, R. (2011). *Motivation in der Klasse*. Münster: Waxmann Verlag.
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (1993). Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. *Zeitschrift für Pädagogik*, 39(2), 223-238.
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (1994). Promoting self-determined education. *Scandinavian Journal of Educational Research*, 38(1), 3-14.
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (2002). Overview of self-determination theory: An organismic dialectical perspective. In E. L. Deci & R. M. Ryan (Hrsg.), *Handbook of selfdetermination research* (S. 3-33). Rochester: University of Rochester Press.

- Deci, E. L., Vallerand, R. U., Pelletier, L. G. & Ryan, R. M. (1991). Motivation and education. *The self-determination perspective. Educational psychologist*, 26(3/4), 325-346.
- Degen, H. & Lorscheid, P. (2005). *Statistik-Lehrbuch*. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH.
- Demtröder, W. (2005). *Experimentalphysik 1. Mechanik und Wärme*. Berlin: Springer.
- Demtröder, W. (2013). *Experimentalphysik 1 Mechanik und Wärme*. Berlin: Springer.
- Diehm, C. & Müller, D. (2013). *Rökan Ginkgo biloba EGb 761*. Berlin: Springer-Verlag.
- Dieterich, R. (1994). Simulation als Lernmethode. In J. Petersen & G-B. Reinert (Hrsg.), *Lehren und Lernen im Umfeld neuer Technologien* (S. 207 – 225). Frankfurt am Main: Peter Lang.
- Ding, K. (2013). *Wie motiviere ich im Unterricht?* Augsburg: Brigg Pädagogik.
- Domagk, S. (2008). *Pädagogische Agenten in multimedialen Lernumgebungen*. Berlin: Logos.
- Dorn, C. (2015). *Mediale Sozialisation und eEducation: Neue Medien – Neue Menschen – Neue Didaktik: Eine Konzeptentwicklung auf Basis der Analyse menschlicher Bewusstseins- und Handlungsstrukturen vor dem Hintergrund einer immer komplexer und authentischer werdenden Medialität*. Norderstedt: BoD – Books on Demand.
- Dörnyei, Z. & Ushioda, E. (2013). *Teaching and Researching: Motivation*. New York: Routledge.
- Dorsch, F. (1994). *Psychologisches Wörterbuch* (12. erweiterte und überarbeitete Auflage). Bern: Hans Huber.
- Dresel, M. (2004). *Motivationsförderung im schulischen Kontext*. Göttingen: Hogrefe.

- Duit, R. & Wodzinski, Ch. (2010). Piko-Brief Nr. 4. Merkmale „guten“ Physikunterrichts. <http://www.ipn.uni-kiel.de/de/das-ipn/abteilungen/didaktik-der-physik/piko/pikobriefe032010.pdf> (Letzter Zugriff: 09.03.2015)
- Duit, R., Tesch, M & Mikelskis-Seifert, S. (2010). Piko-Brief Nr. 6. Das Experiment im Physikunterricht. <http://www.ipn.uni-kiel.de/de/das-ipn/abteilungen/didaktik-der-physik/piko/pikobriefe032010.pdf> (Letzter Zugriff: 09.03.2015)
- Duller, C. (2013). *Einführung in die Statistik mit EXCEL und SPSS: Ein anwendungsorientiertes Lehr- und Arbeitsbuch*. Heidelberg: Springer.
- Ebner, M., Schön, S. & Nagler, W. (2011). Kommunikation und Moderation – Internetgestützte Kommunikation zur Lernunterstützung. In M. Ebner & S. Schön (Hrsg.), *L3T – Lehrbuch für Lernen und Lehren mit Technologien* (o. S.). Bad Reichenhall: BIMIS e.V.
- Eckhardt, M. (2010). Instruktionale Unterstützung beim Lernen mit Computersimulationen im Fach Biologie. http://eldiss.uni-kiel.de/macau/servlets/MCRFileNodeServlet/dissertation_derivate_00003182/Dissertation_Eckhardt.pdf?host=&o (Letzter Zugriff: 27.03.2015)
- Eckstein, P. (2016). *Angewandte Statistik mit SPSS: Praktische Einführung für Wirtschaftswissenschaftler* (8. Auflage). Wiesbaden: Springer-Verlag.
- Ehlers, U.-D. (2004). *Qualität im E-Learning aus Lernaltersicht: Grundlagen, Empirie und Modellkonzeption subjektiver Qualität*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Eickelmann, B. (2010a). *Digitale Medien in Schule und Unterricht erfolgreich implementieren: eine empirische Analyse aus Sicht der Schulentwicklungsforschung*. Göttingen: Waxmann Verlag.
- Eickelmann, B. (2010b). *Bildung und Schule auf dem Weg in die Wissensgesellschaft*. Göttingen: Waxmann Verlag.

- Endberg, M., Lorenz, R. & Senkbeil, M. (2015). Kapitel V Einstellungen von Lehrpersonen der Sekundarstufe I zum Einsatz digitaler Medien im Unterricht. In W. Bos, R. Lorenz, M. Endberg, H. Schaumburg, R. Schulz-Zander & M. Senkbeil (Hrsg.), *Schule digital – der Länderindikator 2015. Vertiefende Analysen zur schulischen Nutzung digitaler Medien im Bundesländervergleich* (S. 95-140). Münster: Waxmann Verlag.
- Endres, P. & Hüther, G. (2014). *Lernlust. Worauf es im Leben wirklich ankommt* (1. Auflage). Hamburg: Murmann Verlag GmbH.
- Endres, W. (2012). *Lerntrainer Motivation*. Weinheim: Beltz.
- Erdmann, H. (2004). Nachhaltigkeit – Neue Medien – Lebenslanges Lernen. (Behörde für Bildung und Sport. Freie und Hansestadt Hamburg) <http://www.hamburg.de/contentblob/69600/e0b2f654caf1e75f23f4e1999299c7d9/data/bbs-hr-blk-nachhalt-neue-medien-2004.pdf> (Stand: 31.03.2017)
- Eur-Lex. (2011). Zusammenfassung der EU-Gesetzgebung. Schlüsselkompetenzen für lebenslanges Lernen. EUR-Lex – c11090 – DE. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=URISERV:c11090> (Letzter Zugriff: 19.03.2015)
- Fabri, P. J. (2016). *Measurement and Analysis in Transforming Healthcare Delivery. Quantitative Approaches in Health Systems Engineering*. Switzerland: Springer International Publishing AG (ebook).
- Fachhochschule Schmalkalden (2014). WissensmanagementELearning. E-Learning. <http://wdb.fh-sm.de/WissensmanagementELearning> (Stand: 12.12.2014)
- Faulstich, P. (2014). *Menschliches Lernen: Eine kritisch-pragmatistische Lerntheorie*. Wetzlar: Transcript Verlag.
- Ferdinand, H. (2014). *Entwicklung von Fachinteresse: Längsschnittstudie zu Interessenverläufen und Determinanten positiver Entwicklung in der Schule*. Münster: Waxmann.

- Ferdinand, P. & Sander, E. (2010). E-Learning im naturwissenschaftlichen Unterricht – ein Blended – Learning – Angebot zur kognitiven Lernförderung auch wenig interessierter SchülerInnen. In C. Quaiser-Pohl & M. Endepohls (Hrsg.), *Bildungsprozesse im MINT-Bereich: Interesse, Partizipation und Leistungen von Mädchen und Jungen* (S. 171-185). Münster: Waxmann Verlag.
- Field, A. (2009). *Discovering Statistics using SPSS* (Third Edition). Los Angeles: SAGE.
- Finkelstein, N. D., Adams, W. K., Keller, C. J., Kohl, P. B., Perkins, K. K., Podolefsky, N. S. & LeMaster, R. (2005). When learning about the real world is better done virtually: A study of substituting computer simulations for laboratory equipment. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 1(1), 1-19.
- Fischer, A. (2003). *Auswirkungen auf die Beschaffung von Investitionsgütern über elektronische Märkte in Abhängigkeit des Betreiberstatus: Eine empirische Studie*. Hamburg: Diplomica Verlag.
- Fischer, J., Henkel, D., Körner, E., Kriemeyer, C., Jelinek, H., Schäffler, M., Schiebeler, R. & Wild, H. (2007). *Förderung der Motivation und Selbstständigkeit im naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht. Aufgaben Beispiele*. Hamburg: Amt für Bildung.
- Fischer, T. (2008). *Handlungsmuster von Physiklehrkräften beim Einsatz neuer Medien: Fallstudien zur Unterrichtspraxis*. Berlin: Logos-Verlag.
- Fleissner, P. (2010). Mathematische Modellierung und Computersimulation als Widerspiegelungsprozesse. In M. Fuellsack (Hrsg.), *Die Simulation komplexer Systeme – Forschen in der Von-Neumann-Galaxis* (S. 32-46). Wien: Institutsverlag für Wissenschaft und Kunst.
- Freikamp, H. (2003). *Neue Medien und Betriebliche Weiterbildung: Formen und Einsatz computer- und netzbasierter Lehr-Lernsysteme in der betrieblichen Weiterbildung*. Hamburg: Diplomica GmbH.

- Friedrich, V., Hoein, S. & Wirth, S. (2009). Handbuch ist im Rahmen eines ETHZ-Projektes. http://nte.unifr.ch/misc/evalguide/program_evaluation/collect_data_prog/design/quasi-experimental_design/index.html (Letzter Zugriff: 09.09.2016)
- Frischknecht-Tober, U. & Labudde, P. (2010). Beobachten und Experimentieren. In P. Labudde (Hrsg.), *Fachdidaktik Naturwissenschaft* (S. 45 – 56). Bern: Hauptverlag.
- Fritz, A., Tobinski, D. & Hussy, W. (2010). *Pädagogische Psychologie* (1. Auflage). Stuttgart: UTB-Verlag.
- Frommer, H. (1978). *Lernpsychologie für die Praxis der Erwachsenenbildung*. Schwenningen: Neckar-Verlag.
- Frühwald, W. (2011). Hoffnung und Gefahr – Physik im Diskurs der Gesellschaft. In W. Martienssen & D. Röß (Hrsg.), *Physik im 21. Jahrhundert. Essays zum Stand der Physik* (S. 1 - 46). Berlin: Springer.
- Fuhrmann, T. (1999) Entwicklung eines Simulationsbaukastens zum raschen Aufbau von Computerexperimenten. http://os.itec.kit.edu/downloads/publ_1999_fuhrmann_phd-thesis.pdf (Letzter Zugriff: 27.04.2015)
- Fülöp, N. (2015). *Didaktische Anwendungs- und Umsetzungselemente einer erfolgreichen Blended Learning Konzeption*. Hamburg: Diplomica Verlag.
- Gehring, U. W. & Weins, C. (2004). *Grundkurs Statistik für Politologen* (4. Auflage). Wiesbaden: Springer-Verlag.
- Gerlach, S. & Squarr, I. (2015). *E-Learning. Methodenhandbuch für Softwareschulungen*. Springer: Berlin, Heidelberg.
- Glavnik, H. (2015). Vorteile virtueller Experimente. Vorteile und Einsatz von Computersimulationen im Unterricht. https://www.ephysik.at/Simulation/Vorteile_virtuellerExperimente.aspx (Letzter Zugriff: 17.03.2015)

- Global online science labs- inquiry learning at school. (2016). Project. <http://www.go-lab-project.eu/project> (Letzter Zugriff: 27.04.2017)
- Glug, I., Pawek, Ch. & Engeln, K. (2005). Schüler- und Lehreräußerungen zum Lernen im Schülerlabor. In M. Euler (Hrsg.), *Naturwissenschaften im Unterricht Physik* (S. 28-29). Seelze: Friedrich Verlag.
- Göhlich, M. & Zirfas, J. (2007). *Lernen: ein pädagogischer Grundbegriff*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Goller, H. (2009). *Erleben, Erinnern, Handeln: eine Einführung in die Psychologie und ihre philosophischen Grenzfragen*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Götze, A. (2007). Determinanten der Schulleistung. <http://www.docstoc.com/docs/155595850/Determinanten-der-Schulleistung-Staatliche-Schulberatung-in-Bayern> (Stand: 18.04.2007)
- Grafendorfer, A. & Kernbichler, M. (2007). Merkmale von Lehrkräften und die Naturwissenschaftsleistung im Blickfeld der Fachdidaktik. <https://www.bifie.at/buch/1191/3/2> (Letzter Zugriff: 29.08.2017)
- Graßhoff, G., Ullrich, H., Binz, C., Pfaff, A. & Schmenger, S. (2013). *Eltern als Akteure im Prozess des Übergangs vom Kindergarten in die Grundschule*. Wiesbaden: Springer-Verlag.
- Grimm, N. (2015). *E-Learning in der Personalentwicklung: Untersuchung des Einsatzes und Erfolgs von E-Learning-Konzepten in Unternehmen*. Hamburg: Diplomica Verlag.
- Gruber, K. A. (2015). *Innovation trifft Virtuelle Realität: Das Potenzial der VR-Technologie zur Optimierung von Produktentwicklungsprozessen durch die Integration von Virtuellen Prototypen*. Hamburg: Disserta Verlag.
- Grunder, H.-U., Finger, C., Romanyuk, Y., Sommer, T. & Raemy, P. (2013). *Der Lernstick in der Schule: Eine empirische Studie zur Akzeptanz und Wirkung eines Lerninstruments im Unterricht*. Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt.

- Grüner, G., Georg, W. & Kahl, O. (1982). *Kleines Berufspädagogisches Lexikon*. Bielefeld: W. Bertelsmann Verlag KG.
- Grünwied, G. (2017). *Usability von Produkten und Anleitungen im digitalen Zeitalter: Handbuch für Entwickler, IT-Spezialisten und technische Redakteure*. Erlangen: Publicis Pixelpark.
- Guderian, P., Priemer, B. & Schön, L. H. (2006). In den Unterricht eingebundene Schülerlaborbesuche und deren Einfluss auf das aktuelle Interesse an Physik. *PhyDid A-Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 2(5), 142-149.
- Guderian, P. (2007). Wirksamkeitsanalyse außerschulischer Lernorte – Der Einfluss mehrmaliger Besuche eines Schülerlabors auf die Entwicklung des Interesses an Physik. Humboldt-Universität zu Berlin. <https://edoc.hu-berlin.de/bitstream/handle/18452/16262/guderian.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Letzter Zugriff 13.08.2017)
- Günther, M. & Velten, K. (2014). *Mathematische Modellbildung und Simulation: Eine Einführung für Wissenschaftler, Ingenieure und Ökonomen* (1. Auflage). Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Günther, S. (2013). Ausgewählte Konzepte des selbstbestimmten Lernens. Schlussfolgerungen für den Förderschwerpunkt Lernen. http://www.qucosa.de/fileadmin/data/qucosa/documents/13010/Qucosa_07_12_2013.pdf (Letzter Zugriff 13.03.2017)
- Hannemann, D. (2004). Die Physik der realen und virtuellen Welten – Online – Didaktik. In B. Peitz, J. Stübig (Hrsg.), *Internet- und multimedial gestützte Lehre an Hochschulen* (S. 1-15) http://dieterhannemann.de/veroef/Physik/InfoPhysik_03-07_BiBB.pdf (Letzter Zugriff 14.08.2017)
- Harackiewicz, J. & Hulleman, C. (2010). The Importance of Interest: The Role of Achievement Goals and Task Values in Promoting the Development of Interest. *Social and Personality Psychology Compass*, 4(1), S. 42-52.

- Harris, B. (2013). *Mehr Motivation und Abwechslung im Unterricht!* Mülheim an der Ruhr: Verlag an der Ruhr.
- Hartinger, A. (2008). Anspruchsvolles Lernen durch Interessenförderung. In M. Götz & J. Jung (Hrsg.), *Anspruchsvolles Lernen in der Grundschule* (S. 3-7). Donauwörth: Auer.
- Hasinger, G. (2011). Strukturentstehung im Kosmos. In W. Martienssen & D. Röß (Hrsg.), *Physik im 21. Jahrhundert. Essays zum Stand der Physik* (S. 265 - 290). Berlin: Springer.
- Hasselhorn, M. & Gold, A. (2009). *Pädagogische Psychologie: erfolgreiches Lernen und Lehren*. W. Stuttgart: Kohlhammer Verlag.
- Hauenstein, H. (2002). Übung zum Umgang und messen mit dem Multimeter. Universität Bayreuth. http://www.virtphys.uni-bayreuth.de/elek/source/t_multi.swf (Letzter Zugriff: 06.12.2015)
- Haug, S., Schmidt, M., Thillosen, A. & Wedekind, J. (Hrsg.) (2014). E-teaching.org eBook. Synchrones Lernen. <http://www.e-teaching.org/glossar/synchrones-lernen> (Stand: 14.03.2017)
- Heckhausen, H. (1965). Leistungsmotivation. In H. Thoma (Hrsg.), *Handbuch der Psychologie* (Bd. 2: Allgemeine Psychologie, S. 602–702). Göttingen: Hogrefe.
- Heckhausen, H. (1968). Förderung der Lernmotivierung und der intellektuellen Tüchtigkeit. In H. Roth (Hrsg.), *Begabung und Lernen* (6. Auflage, S. 193-228). Stuttgart: Klett.
- Heckhausen, H., Schmalt, H.-D. & Schneider, K. (1985). *Achievement motivation in perspective*. New York: Academic Press.
- Heckhausen, J & Heckhausen, H. (2010). *Motivation und Handeln* (4. Auflage). Berlin: Springer.
- Hedtstück, U. (2013). *Simulation diskreter Prozesse: Methoden und Anwendungen*. Vieweg: Springer.

- Heiberger, R. M., & Holland, B. (2015). *Statistical Analysis and Data Display: An Intermediate Course with Examples in R*. Heidelberg: Springer.
- Heiberger, R. M., Robbins N. (2014). Design of Diverging Stacked Bar Charts for Likert Scales and Other Applications. http://www.montana.edu/msse/Data_analysis/Likert%20Survey%20Graphs.pdf (Letzter Zugriff: 01.12.2017)
- Heidelberger, M. (1998). Die Erweiterung der Wirklichkeit im Experiment. In M. Heidelberger & F. Steinle (Hrsg.), *Experimental Essays – Versuche zum Experiment* (S. 71-92). Baden-Baden: Nomos.
- Heisenberg, W. (1973). Das Naturgesetz und die Struktur der Materie. In W. Heisenberg (Hrsg.), *Schritte über Grenzen* (S. 223-242). München: Piper.
- Heizmann, S. (2010). Modelle verwenden. In P. Labudde (Hrsg.), *Fachdidaktik Naturwissenschaft* (S. 45 – 56). Bern: Hauptverlag.
- Helmke, A. & Schrader, F. (2001). Determinanten der Schulleistung. In D. Rost (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (S. 285-302). Weinheim: Beltz.
- Hemmerich, W. (2017). Einfaktorielle ANOVA: Normalverteilung verletzt – Gegenmaßnahmen. <https://statistikguru.de/spss/einfaktorielle-anova/normalverteilung-verletzt.html> (Letzter Zugriff: 08.10.2017)
- Hemmerich, W. (2017). Statistikguru. Welchen Test nehmen? <http://statistikguru.de/SPSS/einfaktorielle-anova/normalverteilung-verletzt.html> (Letzter Zugriff: 11.06.2017)
- Herget, M. (2015). *Mobilität von Familien im ländlichen Raum: Arbeitsteilung, Routinen und typische Bewältigungsstrategien*. Berlin: Springer-Verlag.
- Herzig, B. & Grafe, S. (2006). *Digitale Medien in der Schule. Standortbestimmung und Handlungsempfehlungen für die Zukunft. Studie zur Nutzung digitaler Medien in allgemeinbildenden Schulen in Deutschland*. Bonn: Deutsche Telekom AG.

- Herzig, B. (2014). *Wie wirksam sind digitale Medien im Unterricht?* Bielefeld: Bertelsmann.
- Hettmannsperger, R. (2014). *Lernen mit multiplen Repräsentationen aus Experimenten: Ein Beitrag zum Verstehen physikalischer Konzepte*. Ludwigsburg: Springer-Verlag.
- Heyden, M. (2002). *Bestimmungsgründe von Existenzgründungen im Handwerk unter besonderer Berücksichtigung des sozioökonomischen Ansatzes*. Göttingen: GAU.
- Himpel, F. (2009). *Kooprakurrenz in internationalen Luftverkehrsallianzen: Ein theoretisch-konzeptioneller Forschungs- und Erklärungsansatz*. Wiesbaden: Springer-Verlag.
- Hofer, T. & Krol, H. (2013). 3D Gehirn – das Making-Of. <http://www.hofer-krol.de/projekte/brain/brain-makingof.html> (Letzter Zugriff: 11.08.2017)
- Hoffmann, L., Häußler, P. & Lehrke, M. (1998). Fach- und Sachinteressen von Schülern in den Naturwissenschaften. In Ch. Ziegler (Hrsg.), *Partizipation der Schüler im naturwissenschaftlichen Fachunterricht. Studien zur Bildungsgangforschung* (S. 73-76). Opladen: Verlag Barbara Budrich.
- Hollmann, S. (2012). *Die Wirkung der Kundenloyalität im vertikalen Wettbewerb. Theoretische Fundierung und empirische Analyse (Applied Marketing Science/Angewandte Marketingforschung)*. Paderborn: Springer.
- Holocher-Ertl, S. (2011). Abklärung des Hochleistungspotenzials und Beratung bezüglich eines möglichen Klasseüberspringens – der 7jährige Peter. In K.D. Kubinger & T. M. Ortner (Hrsg.), *Psychologische Diagnostik in Fallbeispielen* (S. 83-95). Göttingen: Hogrefe.
- Holodynski, M. (2009). Entwicklung der Motive. In V. Brandstätter & J. Otto (Hrsg.), *Handbuch der Allgemeinen Psychologie: Motivation und Emotion* (S. 272-283). Göttingen: Hogrefe.
- Hondrich, K., Schumacher, J., Arzberger, K., Schlie, F. & Stegbauer, C. (2013). *Krise der Leistungsgesellschaft? Empirische Analysen zum Engagement in Arbeit, Familie und Politik*. Opladen: Springer.

- Höntzsch, S., Katzky, U., Bredl, K., Kappe, F., & Krause, D. (2013). Simulationen und simulierte Welten. Lernen in immersiven Lernumgebungen. In M. Ebner & S. Schön (Hrsg.), *L3T – Lehrbuch für Lernen und Lehren mit Technologien* (o. S.). Bad Reichenhall: BIMIS e.V.
- Hucke, L. (2000). Handlungsregulation und Wissenserwerb in traditionellen und computergestützten Experimenten des physikalischen Praktikums (Doctoral dissertation, Universität Dortmund). <https://eldorado.tu-dortmund.de/bitstream/2003/2324/2/Huckegessig.pdf> (Letzter Zugriff: 14.08.2017)
- Hüther, G. (2015). Sich zu bewegen lernen heißt für's Leben lernen! Die erfahrungsabhängige Verankerung sensomotorischer Repräsentanzen und Metakompetenzen während der Hirnentwicklung. <http://www.gerald-huether.de/populaer/veroeffentlichungen-von-gerald-huether/texte/sich-bewegen-gerald-huether/index.php> (Stand: 18.01.2015)
- Hüther, G. (2016). *Mit Freude lernen – ein Leben lang: Weshalb wir ein neues Verständnis vom Lernen brauchen. Sieben Thesen zu einem erweiterten Lernbegriff und eine Auswahl von Beiträgen zur Untermauerung*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- IBM Corporation. (2011). *IBM SPSS Advanced Statistics 20*. New York: IBM Corporation.
- Iwu, A. C., Duru, C. B., Uwakwe, K. A., Obionu, C. N., Diwe, K. C., Steve, A. O., Adogu, P., Merenu, I., Nwaimo, N., Oluoha, U., Ndukwu, E. & Ohanle, I. (2016). Effect of Multiple Micronutrient Supplementation on CD4 T Cell levels of Clinically Stable HIV Patients on Highly Active Antiretroviral Therapy; A Randomized Controlled Crossover Trial. *American Journal of Clinical Medicine Research*, 4(1), 1-6.
- Jackson, S. A. & Csikszentmihalyi, M. (1999). *Flow in Sports*. Champaign: Human Kinetics.
- Jaeger, L. (2015). *Die Naturwissenschaften: Eine Biographie*. Berlin: Springer.
- Jähning, M. (2007). *Von der Motivationstheorie zur Motivationspraxis*. Norderstedt: Grin-Verlag.

- Janetzko, D. (2005). *Eigenlogik: zur Rolle subjektiver Theorien bei der Bildungsmotivation*. Münster: Waxmann Verlag.
- Jansen, M., Schroeders, U., & Stanat, P. (2013). Motivationale Schülermerkmale in Mathematik und den Naturwissenschaften. In H. A. Pant, P. Stanat, U. Schroeders, A. Roppelt, T. Siegle & C. Pöhlmann (Hrsg.), *IQB-Ländervergleich 2012. Mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen am Ende der Sekundarstufe I* (S. 347–366). Münster: Waxmann.
- Johnson, L., Adams-Becker, S., Estrada, V., Freeman, A., Kampylis, P., Vuorikari, R. & Punie, Y. (2014). European Commission & The New Media Consortium. Horizon Report Europe. 2014 Schools Edition. Luxemburg: Publications Office of the European Union & Austin, Texas: The New Media Consortium. **Fehler! Linkreferenz ungültig.** (Letzter Zugriff: 02.04.2015)
- Junglas, P. (2003). Einsatz von Applets in der Physik-Ausbildung-Fallstudie Nichtlineare Systeme und Chaos. *Global journal of engineering education*, 7, 337-347.
- Jürgens, E. & Petko, D. (2014). *Einführung in die Mediendidaktik: Lehren und Lernen mit digitalen Medien* (1. Auflage). Weinheim: Beltz.
- Kaila, H. (2005). *Human resource management*. (2. Volume). Dehli: Kalpaz Publications.
- Kaiser, M. (2015). Baukörper = Lehrkörper – Gestaltung von Lernumgebung für die Berufsbildung. In W. Wittwer, A. Dietrich & M. Walber (Hrsg.), *Lernräume: Gestaltung von Lernumgebungen für Weiterbildung* (S. 106-123). Wiesbaden: Springer-Verlag.
- Karaböcek, F. & Erb, R. (2010). Erwartungen von Lehrerinnen und Lehrern an ein Schülerlabor. In D. Höttecke (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Beitrag zur Gestaltung partizipativer Demokratie* (S. 84–86). Münster: Lit Verlag.
- Kaschak, H. (2015). *Mentaltraining für Finanzdienstleister und Versicherungsvermittler*. Wiesbaden: Springer-Verlag.

- Keller, M., Neumann, K., Fischer, H. E. (2009). Lehrerenthusiasmus im Physikunterricht: Fach- und unterrichtsbezogenes Interesse von Physiklehrern. In D. Höttecke (Hrsg.), *Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik: Chemie- und Physikdidaktik für die Lehramtsausbildung*. Berlin: Lit-Verlag.
- Kircher, E., Girwidz, R. & Häußler, P. (2010). *Physikdidaktik: Theorie und Praxis*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Kircher, E., Girwidz, R. & Häußler, P. (2015). *Physikdidaktik: Theorie und Praxis* (3. Auflage). Berlin u.a.: Springer Spektrum.
- Kirstein, J. & Nordmeier, V. (2011). TET: "Technology Enhanced Textbook" – Ein fachdidaktisches Forschungsprojekt. <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/312/403> (letzter Zugriff: 14.04.2014)
- Kirstein, J., Fröhlich, A., Hoedt S. & Nordmeier V. (2010). Lernen mit Interaktiven Bildschirmexperimenten in virtuellen Räumen. <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/228/288> (letzter Zugriff: 30.03.2016)
- Kirstein, J., Hornecker, E., Grossmann, H. & Nordmeier, V. (2015). Seamless Smart Labs. PhyDid B-Didaktik der Physik-Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung. <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/654> (Letzter Zugriff: 16.08.2017)
- Kirstein, J. (2013). Interaktive Bildschirm Experimente (IBE). <https://didaktik.physik.fu-berlin.de/projekte/ibe/index.html> (Letzter Zugriff: 10.07.2017)
- Klauß, T., & Mierke, A. (2017). *Szenarien einer digitalen Welt - heute und morgen: Wie die digitale Transformation unser Leben verändert*. Göttingen: Carl Hanser Verlag.
- Klein, S. & Flad, S. (2009). *Lernen 2.0 – Wie Social Software das Lernen und Wissensmanagement in Gesellschaft und Organisationen verändert*. Norderstedt: GRIN Verlag.
- Kleinginna, P. & Kleinginna, A. (1981). A categorized list of emotion definitions, with suggestions for a consensual definition. *Motivation and Emotion* 5, 345-379.

- Klimsa, P. & Issing, L. (Hrsg.) (2011). *Online-Lernen Handbuch für Wissenschaft und Praxis*. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag.
- Klinger, W. (2006). Akzelerierende Wissenskumulation in den Naturwissenschaften – aufgezeigt am Beispiel der Physik. In H. Heller (Hrsg.), *Gemessene Zeit–Gefühlte Zeit* (Matreier Gespräche zur Kulturethologie 2004. Schriftenreihe der Otto-Koenig-Gesellschaft, S. 289-307). Wien: LIT – Verlag.
- Knaflic, C. N. (2017). *Storytelling mit Daten: Die Grundlagen der effektiven Kommunikation und Visualisierung mit Daten*. München: Vahlen.
- Koch, K. & Ellinger, S. (2015). *Empirische Forschungsmethoden in der Heil- und Sonderpädagogik: Eine Einführung*. Göttingen: Hogrefe Verlag.
- Kohen, M. (2011). Individualisierendes Lehren und Lernen anhand einer multimedialen Lernumgebung zum Thema Sonnenschutz. Dissertation. http://duepublico.uni-duisburg-essen.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-28284/Kohnen_Dissertation.pdf (Letzter Zugriff: 21.05.2015)
- Komorek, M. (2011). Oldenburger Lehr-Lern-Labore OLELA. In S. Bernholt (Hrsg.), *Konzepte fachdidaktische Strukturierung für den Unterricht* (S. 84–86). Münster: Lit-Verlag.
- König, N. S. (2010). *Damit Kindern kein Flügel bricht: Kindliche Verhaltensauffälligkeiten verstehen und ein gutes Familienklima fördern. E-Book*. München: Kösel-Verlag.
- Kopp, M. & Polaschek, M. (2015). Entwicklung der E-Learning-Strategie für die Universität Graz. *Zeitschrift für Hochschulentwicklung*, Jg.10(2), 71-82.
- Körndle, H. (2006). Entwicklung, Erprobung und Evaluation universeller Werkzeuge für den Einsatz Neuer Medien im Schulunterricht. <http://studierplatz2000.tu-dresden.de/toolkit/presentations/CD/Literatur/TOOLKIT-Antrag.pdf> (Letzter Zugriff 17.08.2017)

- Korner, M. (2015). *Cross-Age Peer Tutoring in Physik: Evaluation einer Unterrichtsmethode*. Berlin: Logos.
- Korner, M., Urban-Woldron, H. & Hopf, M. (2012). Entwicklung eines Messinstrumentes zur Motivation. In S. Bertholt (Hrsg.), *Konzepte fachdidaktischer Strukturierung für den Unterricht. Jahrestagung der Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDGP)* (S. 98-100). Münster: Lit-Verlag.
- Korte, S. (2015). *Die Grenzen der Naturwissenschaft als Thema des Physikunterrichts*. Berlin: Logos.
- Krabbe, H., Zander, S. & Fischer, H. E. (2015). *Lernprozessorientierte Gestaltung von Physikunterricht: Materialien zur Lehrerfortbildung*. Münster: Waxmann Verlag.
- Kraewing, M. (2017). *Digital Business Strategie für den Mittelstand: Entwicklung und Konzeption mit internationaler Ausrichtung*. Freiburg: Haufe-Lexware.
- Kraft, H. (2003). Wirkungen und Wirksamkeit neuer Medien in der Bildung. In R. Keill-Slawik & M. Kerres (Hrsg.), *Education Quality Forum. Wirkungen und Wirksamkeit neuer Medien* (S. 1-7). Münster: Waxmann Verlag.
- Krahmer, P. (2002). Interaktive Bildschirm-Experimente (IBE). http://www.lehrer-online.de/dyn/bin/projektbeschreibung_310042-310050-2.pdf (Stand: 10.10.2002)
- Kraiger, M. (2009). Blended Learning, Lern-Management-Systeme und guter Unterricht – Synergie oder Antagonie? Eine explorative Analyse und Evaluation zur Theorie und Praxis eines technologieunterstützten Unterrichts am Beispiel der Sekundarstufe I an Allgemeinbildenden Höheren Schulen. Dissertation. <http://elsa.schule.at/forschung/dissertation-kraiger.pdf> (Letzter Zugriff: 16.08.2017)
- Krapp, A., Geyer, C. & Lewalter, D. (2014). Lernen und Wissenserwerb. In T. Seidel & A. Krapp (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (S. 193-222). Weinheim: Beltz.
- Krapp, A. (1998). Entwicklung und Förderung von Interessen im Unterricht Psychologie. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 44, 185-201.

- Krapp, A. (2003). Die Bedeutung der Lernmotivation für die Optimierung des schulischen Bildungssystems. *Politische Studien*, 54(3), 91-105.
- Krapp, A. (2005). Basic needs and the development of interest and intrinsic motivational orientations. *Learning and Instruction*, 15, 381-395.
- Krapp, A. (2005). Das Konzept der grundlegenden psychologischen Bedürfnisse. *Zeitschrift für Pädagogik*, 51(5), 626 - 641.
- Krapp, A., & Weidenmann, B. (2006). *Pädagogische Psychologie* (5. Auflage). Weinheim: Beltz.
- Krofta, H., Fandrich, J. & Nordmeier, V. (2011). Verbesserung der Lehramtsausbildung durch Schülerlabore Konzept für das Praxisseminar Wärmeübertragung im PhysLab. PhyDid B-Didaktik der Physik-Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung. Freie Universität Berlin. <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/viewArticle/320> (Letzter Zugriff: 16.08.2017)
- Kröger, S. & Breuer, J. (2011). Exploring (digital) Space – Der Einsatz von Unterhaltungsspielen in der Schule am Beispiel von Moonbase Alpha im Physikunterricht. In A. Winter (Hrsg.), *Spielen und Erleben mit digitalen Medien. Pädagogische Konzepte und praktische Anleitungen* (S. 123-146). München: Reinhardt Verlag.
- Kromrey, H. (1998). *Empirische Sozialforschung. Modelle und Methoden der Datenerhebung und Datenauswertung* (8. Auflage). Opladen: Leske & Budrich.
- Krummeck, V. (2007). Multimediale, multicode, multimodale und interaktive Komponenten in mathematischen Lernumgebungen. <https://www-m10.ma.tum.de/foswiki/pub/Lehrstuhl/RichterGebert/DissVanessa.pdf> (Letzter Zugriff: 07.02.2015)
- Kuckartz, U., Rädiker, S., Ebert, T. & Schehl, J. (2013). *Statistik: Eine verständliche Einführung*. Marburg: Springer-Verlag.

- Kuhl, J. (2009). *Lehrbuch der Persönlichkeitspsychologie: Motivation, Emotion und Selbststeuerung*. Göttingen: Hogrefe Verlag.
- Künsting, J. (2007). Effekte von Zielqualität und Zielspezifität auf selbstreguliert-entdeckendes Lernen durch Experimentieren. Dissertation. Universität Duisburg-Essen, Campus Essen. Fachbereich Bildungswissenschaften. http://duepublico.uni-duisburg-essen.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-18503/Diss_Josef_Kuensting_07_12_2007.pdf (Letzter Zugriff: 09.08.2015)
- Künsting, J., Thillmann, H., Wirth, J., Fischer, H. E. & Leutner, D. (2008). Strategisches Experimentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 55, 1-15.
- Kunter, N. (2004). *Multiple Ziele Mathematikunterricht*. Münster: Waxmann.
- Kyas, S. (2007). *Wie Kinder Videospiele erleben. Zu den Wechselwirkungsbeziehungen von Bildschirmspielen sowie personalen und familialen Nutzerfaktoren*. Frankfurt am Main: Peter Lang.
- Lackenbucher, M. (2001). Mobile Messwerterfassung für den Physikunterricht. Vorstellung neuartiger Schülerexperimente mit einem mobilen Messsystem und Computerauswertung. <http://pluslucis.univie.ac.at/Archiv/Diplomarbeiten/lackenbucher/mmph.pdf> (Letzter Zugriff: 04.07.2015)
- Landesbildungsserver Baden-Württemberg. (2015). Was ist ein RCL? <http://www.schule-bw.de/unterricht/faecher/physik/mess/rcl/> (Letzter Zugriff: 14.08.2016)
- Lange, K. (2011). *Historisches Bildverstehen oder Wie lernen Schüler mit Bildquellen? Ein Beitrag zur geschichtsdidaktischen Lehr-Lern-Forschung*. Münster: LIT Verlag.
- Langens, T. & Schüler, J. (2003). Die Messung des Leistungsmotivs mittels thematischen Auffassungstest. In J. Stiensmeier-Pelster & F. Rheinberg (Hrsg.), *Diagnostik von Motivation und Selbstkonzept* (S. 261-279). Göttingen: Hogrefe.

- Lassaulx, S. (2007). *Selbstständiges Experimentieren – ein Versuch, die Nachteile des „klassischen“ Physikunterrichts zu überwinden*. Stuttgart: Klett.
- Laucken, U., Mees, U. (1996). Motivationspsychologisches Umgangswissen als kulturell tradiertes Ordnungsangebot. In J. Kuhl & H. Heckhausen (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie, Serie Motivation und Emotion, Bd. 4: Motivation, Volition und Handlung* (S. 3 - 67). Göttingen: Hogrefe.
- Laukenmann, M., Bleicher, M., Fuß, S., Gläser-Zikuda, M., Mayring, Ph. & Rhöneck, Ch. (2000). Eine Untersuchung zum Einfluss emotionaler Faktoren auf das Lernen im Physikunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 6, 139-155.
- Läzer, K. L. (2008). Does gender matter? Ergebnisse der SchülerInnenumfrage zum naturwissenschaftlichen Unterricht. In H. Faulstich-Wieland, K. Willems, N. Feltz, U. Freese & K. L. Läzer (Hrsg.), *Genus – geschlechtergerechter naturwissenschaftlicher Unterricht in der Sekundarstufe I* (S. 93-119). Heilbronn: Verlag Julius Klinkhardt.
- Leal, S., Leal, J-P. & Fernandes, H. (2015). A blended-learning approach to the Boyle-Mariotte law. An e-lab didactic interactive multimedia environment teaching in the secondary level. https://www.academia.edu/1875577/A_blended-learning_approach_to_the_Boyle-Mariotte_law_An_e-lab_didactic_interactive_multimedia_environment_teaching_in_the_secondary_level (Letzter Zugriff: 09.03.2015)
- Lechner, K. (2003). Medien unterstützte Lehre in der Physik. Diplomarbeit. <http://www.univie.ac.at/pluslucis/Archiv/Diplomarbeiten/Lechner/DiplomarbeitLechner.pdf> (Letzter Zugriff: 29.06.2016)
- Lechte, M.-A. (2008). *Sinnbezüge, Interesse und Physik: eine empirische Untersuchung zum Erleben von Physik aus Sicht von Schülerinnen und Schülern*. Opladen: Barbara Budrich.

- Lecke, B. (2007). Schule, Förderschwerpunkt Sprache und Neue Medien. In H. Schöler, A. Welling, J. Borchert & H. Goetze (Hrsg.), *Sonderpädagogik der Sprache* (S. 1104 – 1113). Göttingen: Hogrefe Verlag.
- Lederer, B. (2014). *Kompetenz oder Bildung* (1. Neuausgabe). Innsbruck: innsbruck university press.
- Lembke, G. & Leipner, I. (2016). *Die Lüge der digitalen Bildung: Warum unsere Kinder das Lernen verlernen*. (2. Auflage) München: Redline Wirtschaft.
- Lenk, H. (2002). *Erfolg oder Fairness? Leistungssport zwischen Ethik und Technik*. Münster: LIT Verlag.
- Leonhart, R. (2008). *Psychologische Methodenlehre / Statistik*. München: Ernst Reinhardt Verlag.
- Leuthner, D. & Brünken R. (2000). *Neue Medien in Unterricht, Aus- und Weiterbildung: aktuelle Ergebnisse empirischer pädagogischer Forschung*. Münster: Waxmann.
- Linde, B. & Heyde, A. (2013). *Psychologie für Führungskräfte*. Freiburg: Haufe-Lexware.
- Lohaus, A. & Vierhaus, M. (2015). *Entwicklungspsychologie des Kindes- und Jugendalters für Bachelor*. Heidelberg: Springer
- Lorenz, M. (1995). Multimedia in der schulischen Ausbildung. Innovative Konzepte für die Ausbildung. In S. Springer (Hrsg.), *Innovative Konzepte für die Ausbildung*, (S. 298-307). Heidelberg: Springer.
- Lyraou, S., Mantas, D., Msaouel, P., Baathalah, S., Shrivastav, P., Chrisostomou, M., Mihalopoulos, Y., Hasiakos, D. & Baka, S. (2007). *Crossover analysis using immunofluorescent detection of MLH1 foci in frozen-thawed testicular tissue. Reproductive biomedicine online*, 15(1), 99-105.
- Maaß, S., Mürdter, H. & Rieß, H. Ch. (1983). *Statistik für Wirtschafts- und Sozialwissenschaftler II. Induktive Statistik*. Berlin: Springer.

- Maier, P. (2015). Virtuelle Medien in den Ingenieurwissenschaften: Lernen mit Neuen Medien. Wissenschaftliche Beiträge, 46. https://opus4.kobv.de/opus4-th-wildau/frontdoor/deliver/index/docId/384/file/WB_2003_9.pdf (Letzter Zugriff: 17.07.2017)
- Mainzer, K. (2013). *Computernetze und virtuelle Realität: Leben in der Wissensgesellschaft*. Heidelberg: Springer-Verlag.
- Maiseyenko, V. (2014). *Modellbasiertes Experimentieren im Unterricht: Praxistauglichkeit und Lernwirkungen*. Berlin: Logos.
- Mandl, H. & Winkler, K. (2004). E-Learning – Trends und zukünftige Entwicklungen. In K. Rebusburg (Hrsg.), *Grundfragen multimedialen Lehrens und Lernens* (S. 17-29). Berlin: Technische Universität.
- Mangold, J. (2001). Schülerversuche effektiver gestalten. PFL- Naturwissenschaften. https://www.imst.ac.at/imst-wiki/images/9/92/72_Langfassung_Mangold.pdf (Letzter Zugriff: 13.03.2017)
- Mangold, R., Vorderer, P. & Bente, G. (2004). *Lehrbuch der Medienpsychologie* (1. Auflage). Göttingen, Bern, Toronto, Seattle: Hogrefe Verlag.
- Mansfeld, M. N. (2011). *Innovatoren: Individuen im Innovationsmanagement*. Wiesbaden: Gabler.
- Martin, F. & Carr, M. (2015). An exploratory study on K-12 teachers' use of technology and multimedia in the classroom. Research Papers. <https://search.proquest.com/openview/80cefa02bb73775861b94c417912a1dd/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2030628> (Letzter Zugriff: 10.04.2016)
- Martiny, K. (2002). Der Einsatz von Neuen Medien im Fremdsprachenunterricht am Beispiel einer Blended-Learning-Unterrichtseinheit für das Fach Englisch in der Sekundarstufe I. Technische Universität Darmstadt. **Fehler! Linkreferenz ungültig.** (Letzter Zugriff: 09.07.2017)

- Mathes, C. (2011). *Wirtschaft unterrichten. Methodik und Didaktik der Wirtschaftslehre*. (7th Edition). Griten: Verlag Europa-Lehrmittel.
- Mattern, F. & Floerkemeier, C. (2010). Vom internet der computer zum internet der dinge. *Informatik-Spektrum*, 33(2), 107-121.
- Mayer, H. O. (2005). *Einführung in die Wahrnehmungs-, Lern- und Werbe-Psychologie*. München: Oldenbourg Verlag.
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia Learning*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mayrberger, K. (2012). Neues Lernen mit neuen Medien im geöffneten Unterricht der Grundschule – Analyse sozialer Interaktion von Schülerinnen und Schüler beim gemeinschaftlichen, computerunterstützten Lernen. In M. Götz & K. Müller (Hrsg.), *Grundschule zwischen den Ansprüchen der Individualisierung und Standardisierung*. Heidelberg: Springer.
- McClelland, D. C. (1988). *Human Motivation*. Boston: Cambridge University Press.
- McClelland, D. C., Atkinson, J. W., Clark, R. A. & Lowell, E. L. (1953). *The achievement motive*. New York: Appleton-Century-Crofts.
- Meder, J. (1995). Neue Technologien und Erziehung/Bildung. In J. Lauffer & I. Volkmer (Hrsg.), *Kommunikative Kompetenz in einer sich ändernden Medienwelt*. http://download.springer.com/static/pdf/890/bok%253A978-3-663-01404-1.pdf?originUrl=http%3A%2F%2Flink.springer.com%2Fbook%2F10.1007%2F978-3-663-01404-1&token2=exp=1451157577~acl=%2Fstatic%2Fpdf%2F890%2Fbok%25253A978-3-663-01404-1.pdf%3ForiginUrl%3Dhttp%253A%252F%252Flink.springer.com%252Fbook%252F10.1007%252F978-3-663-01404-1*~hmac=7fc78d91ca08b90f69b60172b8df56ec2d1c71a2bf9d9410be8e21fd634d221b (Letzter Zugriff: 11.06.2014)

- Memoli, P. (2016). Ground breaking Science interaction. Commissioning Virtual Experiments in the undergraduate Laboratory. University of Southampton. Virtual Experiments. http://ve.soton.ac.uk/virtual_experiment_guidance_notes_internal.pdf (Letzter Zugriff: 10.09.2016)
- Merkel, W. (2013). Nobelpreis für chemische Reaktionen im Cyberspace. In Welt-Wissenschaft Online <http://www.welt.de/wissenschaft/article120766963/Nobelpreis-fuer-chemische-Reaktionen-im-Cyberspace.html> (Letzter Zugriff: 9.10.2013)
- Merzyn, G. (2015). Guter Physikunterricht. Die Sicht von Schülern, Lehrern und Wissenschaftlern. *PhyDid B-Didaktik der Physik-Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*. 1-8.
- Metzger, S. (2010). Didaktische Rekonstruktion: Fachsystematik und Lernprozesse in der Balance halten. In P. Labudde (Hrsg.), *Fachdidaktik Naturwissenschaft* (S. 45-56). Bern: Hauptverlag.
- Meyn, J. (2011). *Grundlegende Experimentiertechnik im Physikunterricht*. München: Oldenbourg.
- Mézes, C. & Erb, R. (2011). Zur Motivation beim naturwissenschaftlichen computerunterstützten Experimentieren. *Didaktik der Physik*, 1-5.
- Micheli, M. D. (2006). *Nachhaltige und wirksame Mitarbeitermotivation: Praxisgrundsätze, Fallbeispiele, Motivations- und Führungsprinzipien und konkrete Motivationsideen inklusive Mitarbeitergespräche und Kommunikationsregeln zur Motivationssteigerung von Mitarbeitern im Betriebsalltag*. Zürich: Praxium-Verlag.
- Mienert, M. & Pitcher, S. (2011). *Pädagogische Psychologie: Theorie und Praxis des Lebenslangen Lernens*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Mießler, M. (1979). *Leistungsmotivation und Zeitperspektive*. München: Oldenburg Verlag.
- Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen. (2007). *Sinus Transfer*. Stuttgart: Klett.

- Mittag, H.-J. (2016). *Statistik: Eine Einführung mit interaktiven Elementen*. (4. Auflage). Heidelberg: Springer-Verlag.
- Moriz, W. (2008). *Blended-Learning: Entwicklung, Gestaltung, Betreuung und Evaluation von E-Learningunterstütztem Unterricht* (1. Auflage). Norderstedt: Books on Demand.
- Moriz, W. (2013). *Blended-Learning: Entwicklung, Gestaltung, Betreuung und Evaluation von E-Learningunterstütztem Unterricht*. Norderstedt: Books on Demand.
- Möslinger, A. (2012). E-Learning im Sportkunde- und Physikunterricht. http://othes.univie.ac.at/24341/1/2012-12-17_0625365.pdf (Letzter Zugriff: 16.08.2017)
- Muckenfuß, H. (1995). *Lernen im sinnstiftenden Kontext. Entwurf einer zeitgemäßen Didaktik des Physikunterrichts*. Berlin: Cornelsen.
- Müller, C. & Hauser, M. (2014). Konkrete Gestaltung von Lern- und Arbeitsräumen. Ein Raum für E-Learning und Medien. Konzeption, Realisierung und Erfahrungen aus dem Pilotbetrieb im Neuen Medienzentrum der Universität Passau. In K. Rummler (Hrsg.), *Lernräume gestalten – Bildungskontexte vielfältig denken* (S. 442-459). Zürich: Waxmann.
- Müller, F., Hanfstingl, B. & Andreitz, I. (2007). *Skalen zur motivationalen Regulation beim Lernen von Schülerinnen und Schülern. Adaptierte und ergänzte Version des Academic Self-Regulation Questionnaire (SRQ-A) nach Ryan & Connell*. Klagenfurt: Alpen-Adria Universität.
- Müller, R. (2006). Physik in interessanten Kontexten – Ein Programm zur Förderung der naturwissenschaftlichen Grundbildung durch Physikunterricht. <https://www.tu-braunschweig.de/Medien-DB/ifdn-physik/physik-in-interessanten-kontexten-rmueller.pdf> (Letzter Zugriff: 14.09.2016)

- Müller, St. (2006). Theoretische und praktische Implementierung der bilingualen Bildung im Kindergarten – Konzeption einer lebensbezogenen bilingualen Didaktik. http://www.plattform-educare.org/Dissertationen/VeroeffentlichungFreiDok_Diss.pdf (Letzter Zugriff: 21.05.2015)
- Müller, T. (2006). Die Bedeutung neuer Medien in der Fachdidaktik für den Unterrichtsgegenstand Darstellende Geometrie. Dissertation. Wien: Technische Universität.
- Murayama, K., Pekrun, R., Lichtenfeld, S. & Hofe, R. (2012). Predicting Long-Term Growth in Students' Mathematics Achievement: The Unique Contributions of Motivation and Cognitive Strategies. http://scottbarrykaufman.com/wp-content/uploads/2012/12/Murayama-et-al_2012_CD.pdf (Stand: 14.12.2012)
- Mürner, B., Polexe, L. & Tschopp, D. (2015). Es funktioniert doch - Akzeptanz und Hürden beim Blended Learning. Zeitschrift für Hochschulentwicklung. <http://www.zfhe.at/index.php/zfhe/article/view/813> (Letzter Zugriff: 14.11.2016)
- Murphy, K. & Alexander, P. (2000). A motivated exploration of motivation terminology. *Contemporary Educational Psychology*, 25, 3-53.
- Mut, L. (2008). *Schüler lernen mit Neuen Medien zu präsentieren. Ein Unterrichtsversuch im Physikunterricht der Klasse 10*. München: GRIN Verlag GmbH.
- Myers, D. G. (2008). *Psychologie*. (2. Auflage). Heidelberg: Springer-Verlag.
- Nachbagauer, A., & Schirl, I. (2013). *Human Resource Management in Projektorientierten Unternehmen*. Wien: Linde Verlag GmbH.
- Nagl, C. (2009). eLearning im physikalischen Anfängerpraktikum. In H. Niedderer, H. Fischler & E. Sumfleth (Hrsg.), *Studien zum Physik- und Chemielernen (Band 74)*. Berlin: Logos.

- National Quality Standard. Professional Learning Program. (2012). NQS PLP e-Newsletter. Interest-based learning. http://www.earlychildhoodaustralia.org.au/nqsplp/wp-content/uploads/2012/06/NQS_PLP_E-Newsletter_No37.pdf (Letzter Zugriff: 14.11. 2016)
- Negroponte, N. (1996). *Total digital: die Welt zwischen 0 und 1 oder die Zukunft der Kommunikation*. München: Bertelsmann.
- Nerdinger, F. W. (1995). *Motivation und Handeln in Organisationen – eine Einführung*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Neubert, V. (2016). *Bindung und Risiko: Wie weit reicht die protektive Kraft sicherer Bindung?* Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Neumeyer, S. & Mikelskis, H. (2007). Lernortpraktikum im Grund-und Leistungskurs der Klassenstufe 11. In D. Höttecke (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Beitrag zur Gestaltung partizipativer Demokratie* (S. 209 - 211). Münster: Lit-Verlag.
- Nickel, P. (2014). Virtuelle Realität in der Mensch-Maschine-Interaktion. <http://www.dguv.de/ifa/Fachinfos/Virtuelle-Realit%C3%A4t/index.jsp> (Letzter Zugriff: 03.03.2014)
- Niegemann, H. (2011). Interaktivität in Online-Anwendungen. In L. Issing, & P. Klimsa (Hrsg.), *Online-Lernen. Handbuch für Wissenschaft und Praxis* (S. 125-137). München: Oldenbourg.
- Niegemann, H. M., Domagk, S., Hessel, S., Hein, A., Hupfer, M. & Zobel, A. (2008). *Kompendium multimediales Lernen*. Heidelberg: Springer Science & Business Media.
- Niermeyer, R. (2007). *Motivation: Instrumente zur Führung und Verführung*. Freiburg: Haufe-Lexware.
- Nistor, N., Schnurer, K. & Mandl, H. (2005). *Akzeptanz, Lernprozess und Lernerfolg in virtuellen Seminaren-Wirkungsanalyse eines problemorientierten Seminarkonzepts*. (Forschungsbericht Nr. 174). München: Ludwig-Maximilians-Universität.

- Noels, K., Clément, R. & Pelletier, L. (1999), Perceptions of teachers' communication style and students' intrinsic and extrinsic motivation. *The Modern Language Journal* 83(1), 23-34.
- Nückles, M. & Wittwer, J. (2014). Motivation und Emotion. In T. Seidel & A. Krapp (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (S. 225-252). Weinheim: Beltz.
- OECD (2007), PISA 2006 Ergebnisse PISATM 2006 – Schulleistungen im internationalen Vergleich. Naturwissenschaftliche Kompetenzen für die Welt von morgen. (Deutscher Übersetzungsdienst der OECD). <http://www.oecd.org/pisa/39728657.pdf> (Letzter Zugriff: 14.03.2016)
- OECD (2014), PISA 2012 Ergebnisse: Was Schülerinnen und Schüler wissen und können (Band I, Überarbeitete Ausgabe, Februar 2014): Schülerleistungen in Lesekompetenz, Mathematik und Naturwissenschaften. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264208858-de> (Letzter Zugriff: 16.03.2016)
- OECD (2014a), PISA im Fokus. Hat die Selektion bzw. Aufteilung der Schüler auf verschiedene Schulen Auswirkungen auf deren Lernmotivation? <http://www.oecd.org/pisa/pisaproducts/pisainfocus/pisa-in-focus-No39-GER.pdf> (Stand: 27. Februar 2015)
- Otten, E.-W. (2013). *Repetitorium Experimentalphysik: Für Vordiplom und Zwischenprüfung*. Heidelberg: Springer-Verlag.
- Otto, J. H., Euler, H. A. & Mandl, H. (2000). *Emotionspsychologie* (1. Auflage). Weinheim: Beltz.
- Pachner, A. (2009). *Entwicklung und Förderung von selbst gesteuertem Lernen in Blended-Learning-Umgebungen*. Münster: Waxmann.

- Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz. (Hrsg.) (2015). Bildungsserver. Ministerium für Bildung, Wissenschaft, Weiterbildung. Lehr- und Rahmenlehrplan. http://lehrplaene.bildung-rp.de/lehrplaene-nach-faechern.html?tx_abdownloads_pi1%5Bcategory_uid%5D=105&tx_abdownloads_pi1%5Bcid%5D=5786&cHash=207a72da3c889587c273e17f1f6ec0cf (Letzter Zugriff: 20.02.2017).
- Pahor, D. (2013). Virtuelle Realität und Simulation für die ophthalmochirurgische Ausbildung. *spektrum der augenheilkunde* 27(6), 269-274.
- Pakulat, S. (2009). *Einblick in das Wissenskonstrukt des Interesses und seine Auswirkungen auf das schulische Lernen*. Norderstedt: Grin-Verlag.
- Pedrotti, M. & Nistor, N. (2014). Einfluss studentischer Motivation auf die Bereitschaft zur Nutzung eines Online-Vorlesungsportals. In K. Rummler (Hrsg.), *Lernräume gestalten – Bildungskontexte vielfältig denken* (S. 332-342). Zürich: Waxmann.
- Peetz, A. (2010). eLEARNING in den Naturwissenschaften. *eLearning-Magazin – Zentrales eLearning-Büro der Universität Hamburg*. <http://www.uni-hamburg.de/elearning/hamburger-elearning-magazin-04.pdf> (Letzter Zugriff: 07.04.2015)
- Perros, H. (2009). *Computer Simulation Techniques: The definitive introduction!* North Carolina: Raleigh.
- Peschel, F. (2014). Mr. Hattie und der Offene Unterricht. Interpretation eines Einzelfaktors. *Die Grundschulzeitschrift*, 272/273, 12-16.
- Pester, A. & Auer, M. (2013). Online-Labore. Formen, Einsatz in der Lehre, Beispiele und Tricks. In M. Ebner & S. Schön (Hrsg.), *L3T – Lehrbuch für Lernen und Lehren mit Technologien* (o. S.). Bad Reichenhall: BIMIS e.V.
- Petri, J. (2001). Lernen in Multimedia-Umgebungen. Pädagogisch-psychologische Grundlagen, empirische Ergebnisse, aktuelle Entwicklungen. Arbeitspapier. Universität Bremen. Didaktik der Physik. http://www.physik-multimedial.de/papiere/Lernen_mit_MM.pdf (Letzter Zugriff: 28.12.2015)

- Pietschmann, D. (2014). *Spatial Mapping in virtuellen Umgebungen: der Einfluss von Stereoskopie und Natural Mapping auf die User Experience*. Dissertation. Chemnitz: Technische Universität.
- Pinnow, M. (2010). Motivationspsychologie. Gendering motivation. Geschlechterdifferenz im Wechselspiel von Nature und Nurture. In G. Stein (Hrsg.), *Handbuch Psychologie und Geschlechterforschung* (S. 53-65). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Pinquart, M., Schwarzer, G. & Zimmermann, P. (2011). *Entwicklungspsychologie – Kindes- und Jugendalter*. Göttingen: Hogrefe Verlag.
- Plassmann, A. & Schmitt, G. (2015). Lern-Psychologie. Psychologie Online Lernen. Universität Duisburg-Essen. <https://www.uni-due.de/edit/lp/behavior/skinner.htm> (Letzter Zugriff: 08.02.2015)
- Platz, P. (1980). *Die Überwindung informationswirtschaftlicher Engpässe in der Unternehmung. Analyse von Möglichkeiten zur Verbesserung des Kosten-Leistungsverhältnisses von Informations-Systemen*. Berlin: Duncker und Humblot.
- Pospiech, G. (2013). Sinnstiftung durch Fächerverbindung. In M. Niethammer & G. Pospiech (Hrsg.), *Naturwissenschaft und Kunst. Gestaltung fächerübergreifenden Unterrichts* (S. 74-75). Münster: Waxmann
- Prenzel, M., Baumert, J., Blum, W., Lehmann, R., Leutner, D., Neubrand, M., Pekrun, R., Rolff, H., Rost, J. & Schiefele, U. (Hrsg.) (2004). *PISA 2003: Der Bildungsstand der Jugendlichen in Deutschland – Ergebnisse des zweiten internationalen Vergleichs*. Münster: Waxmann.
- Prenzel, M., Kramer, K. & Drexel, B. (2001). Grundlagen einer modernen kaufmännischen Berufsqualifizierung – Ergebnisse eines Forschungsprojekts. In K. Beck & V. Krumm (Hrsg.), *Lehren und Lernen in der beruflichen Erstausbildung* (S. 37 – 63). Wiesbaden: Springer.

- Prenzel, M., Sälzer, C., Klieme, E. & Köller, O. (2013). *PISA 2012: Fortschritte und Herausforderungen in Deutschland*. Münster: Waxmann.
- Prokoph, K., (2015). Außerunterrichtliches Lernen durch Lehren im Fachgebiet Chemie. In L. Berger, J. Grzega & C. Spannagel (Hrsg.), *Lernen durch Lehren im Fokus, Berichte von LdL-Einsteigern und LdL-Experten* (S. 67-77). Berlin: epubli GmbH.
- Pruiskens, C. (2005). *Interessen und Hobbys hochbegabter Grundschulkinder. Formeln statt Fußball?* Münster: Waxmann Verlag.
- Punge, J. (2009). Psychologie – Seiten.de. Atkinsons Risiko-Wahl-Modell. http://www.psychologie-seiten-archiv.psychologie-seiten.de/?Motivation:Motivation_durch_Anreiz_und_Erwartung:Atkinsons_Risiko-Wahl-Modell&print (Letzter Zugriff: 27.03.2016)
- Rabe, T. (2010). Piko-Brief Nr. 2. Affektive Aspekte und Lernen von Physik. <http://www.ipn.uni-kiel.de/de/das-ipn/abteilungen/didaktik-der-physik/piko/pikobriefe032010.pdf> (Letzter Zugriff: 09.03.2015)
- Rachel, A. (2013). Auswirkungen instruktionaler Hilfen bei der Einführung (Ferro-)Magnetismus. In H. Niedderer, H. Fischler & E. Sumfleth (Hrsg.), *Studien zum Physik- und Chemielernen* (Band 157). Berlin: Logos.
- Raithel, J. (2006). *Quantitative Forschung. Ein Praxiskurs*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Rakoczy, K. (2006). Motivationsunterstützung im Mathematikunterricht: Zur Bedeutung von Unterrichtsmerkmalen für die Wahrnehmung der Schülerinnen und Schüler. *Zeitschrift für Pädagogik* 52(6), 822-843.
- Rammstedt, B. (2004). *Zur Bestimmung der Güte von Multi-Item-Skalen: Eine Einführung* (ZUMA How-to-Reihe Nr. 12). Mannheim: Zentrum für Umfragen.

- Rasch, B., Frieze, M., Hofmann, W. & Naumann, E. (2008). *Quantitative Methoden. Einführung in die Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler*. Heidelberg: Springer.
- Rasch, B., Frieze, M., Hofmann, W. & Naumann, E. (2014). *Quantitative Methoden. Einführung in die Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler*. Heidelberg: Springer. Online Ergänzung https://lehrbuch3.s3.amazonaws.com/files/asset/544e79463c844a000_2000136/Kapitel_6_GPower_Ergaenzungen_A4.pdf (Letzter Zugriff: 23.05.2017)
- Rasch, B., Frieze, M., Hofmann, W. J. & Naumann, E. (2010). *Quantitative Methoden Band 2. Einführung in die Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler*. (2. erweiterte Auflage). Heidelberg: Springer-Verlag.
- Raschke, B. (2006). Physikalische Freihandexperimente zur Mechanik. Diplomarbeit. <http://portal.tugraz.at/portal/page/portal/Files/i5110/files/Forschung/Thermophysik/DiplomarbeitBarbaraRaschke.pdf> (Letzter Zugriff: 23.05.2015)
- Rath, G. (2005). Computer im Physikunterricht – pro und contra. In Plus Lucis. Verein zur Förderung des Physikalischen und Chemischen Unterrichts österreichische physikalische Gesellschaft – Fachausschuss Lehrer an Höheren Schulen. Österreichische Physikalische Gesellschaft (ÖPG). <http://pluslucis.univie.ac.at/PlusLucis/953/s10.pdf> (Letzter Zugriff: 30.01.2015)
- Rattay, G. (2013). *Führung von Projektorganisationen: Ein Leitfaden für Projektleiter, Projektportfolio-Manager und Führungskräfte projektorientierter Unternehmen*. Wien: Linde Verlag GmbH.
- Rees, C.T. (2013). Viel zitiert und kaum gelesen. Die Hattie-Studie „Visible Learning“. *Schule im Blickpunkt*, 46, 6-10.
- Reinhold, P. (1996). *Offenes Experimentieren und Physiklernen*. Kiel: IPN Verlag.

- Reitinger, J., Nausner, E. & Weinberger, A. (2013). *Quantitative Forschung im pädagogischen Feld* (1. Auflage). Aachen: Shaker.
- Rendtorff, B. (2015). Thematisierung oder De-Thematisierung – Wie können wir mit Geschlechteraspekten im Kontext von Schule umgehen? In J. Wedl & A. Bartsch (Hrsg.), *Teaching Gender? Zum reflektierten Umgang mit Geschlecht im Schulunterricht und in der Lehramtsausbildung* (S. 35-47). Bielefeld: Transcript Verlag.
- Renner, K. H., Heydasch, T. & Ströhlein, G. (2012). *Forschungsmethoden der Psychologie: Von der Fragestellung zur Präsentation (Basiswissen Psychologie)*. Heidelberg: Springer.
- Renninger, A., Hidi, S. & Krapp, A. (2014). *The Role of Interest in Learning and Development*. New York: Psychology Press.
- Rheinberg, F. & Krug, S. (2004). *Motivationsförderung im Schulalltag: Psychologische Grundlagen und praktische Durchführung* (3. korr. Auflage). Göttingen, Bern, Toronto, Seattle, Oxford, Prag: Hogrefe Verlag.
- Rheinberg, F. & Vollmeyer, R. (2003). Flow-Erleben in einem Computerspiel unter experimentell variierten Bedingungen. *Zeitschrift für Psychologie*, 211, 161-170.
- Rheinberg, F. (1986). Lernmotivation. In W. Sarges & R. Fricke (Hrsg.), *Psychologie für die Erwachsenenbildung / Weiterbildung* (S. 360-365). Göttingen: Hogrefe.
- Rheinberg, F. (2004). Intrinsische Motivation und Flow-Erleben. Universität Potsdam.
Fehler! Linkreferenz ungültig. (Letzter Zugriff: 23.12.2015)
- Rheinberg, F. (2008). *Motivation* (7. Auflage). Stuttgart: Kohlhammer Verlag.
- Rheinberg, F., Vollmeyer, R. & Burns, B. D. (2001). FAM. Ein Fragebogen zur Erfassung aktueller Motivation in Lern- und Leistungssituationen. *Diagnostica* 2, 57-66.

- Rheinberg, F., Vollmeyer, R. & Engeser, S. (2003). Die Erfassung des Flow-Erlebens. In J. Stiensmeier-Pelster & F. Rheinberg (Hrsg.), *Diagnostik von Motivation und Selbstkonzept* (S. 261-279). Göttingen: Hogrefe.
- Riederer, P. & Laux, G. (2013). *Neuro-Psychopharmaka: Ein Therapie-Handbuch Band 1: Allgemeine Grundlagen der Pharmakopsychiatrie*. Wien: Springer-Verlag.
- Riegler, H. (2015). Reflexion der LehrerInnenrolle im projektbasierten, kollaborativen Tablet-Unterricht in der Sekundarstufe I. Donau-Universität Krems Department für Interaktive Medien und Bildungstechnologien Zentrum für Mediengestütztes und Individualisiertes Lernen. http://onlinecampus.virtuelle-ph.at/pluginfile.php/73336/mod_glossary/entry/5632/riegler_heidemarie_master%20thesis.pdf (Letzter Zugriff: 25.08.2016)
- Rieß, W., Wirtz, M., Schulz, A. & Barzel, B. (2012). *Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht. – Theoretische Fundierung und empirische Befunde*. Münster: Waxmann.
- Riethmayer, E. (2015). *EVA und die Psychologie: Psychologische Voraussetzungen eigenverantwortlichen, selbstständigen Arbeitens und Lernens (EVA) im individualisierten Unterricht für Lehrer und Eltern*. Hamburg: tredition GmbH.
- Röder, B. (2009). *Selbstwirksamkeitsförderung durch Motivierung von Schülern. Fachbereich Erziehungswissenschaft und Psychologie*. Dissertation. Berlin: Freie Universität.
- Rohlfes, J. (2005). *Geschichte und ihre Didaktik*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Rohs, M. (2010). Zur Neudimensionierung des Lernortes. *Report-Zeitschrift für Weiterbildungsforschung*, 33(2), 34-45.

- Rösch, R. (2006). *Förderung des Interesses an Naturwissenschaft und Technik: Entwicklung, Erprobung und Evaluation eines Gesamtkonzepts für das allgemeinbildende Gymnasium in Zusammenarbeit von Schule und Wirtschaft*. Dissertation. Erlangen – Nürnberg: Universität.
- Röß, D. (2011). *Mathematik mit Simulationen lehren und lernen. Plus 2000 Beispiele aus der Physik*. Berlin: Walter de Gruyter.
- Roth, H. (1965). *Pädagogische Psychologie des Lehrens und Lernens*. Hannover: Schrödel.
- Rothe, K. (1981). *Chancengleichheit, Leistungsprinzip und soziale Ungleichheit*. Berlin: Duncker & Humblot.
- Rothermund, K. & Eder, A. (2012). *Motivation und Emotion*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Rudolph, U. (2009). *Motivationspsychologie kompakt: Mit Online-Materialien* (2. Auflage). Weinheim, Basel: Beltz.
- Ruf, T. (2014). *Gestaltung Kognitiver Unterstützungsangebote in Multimedialen Lernumgebungen: Entwicklung einer gebrauchstauglichen benutzerschnittstelle und empirische Evaluation der Nutzung*. Berlin: Logos Verlag GmbH.
- Rusch, S. (2012). *Stressmanagement: ein Arbeitsbuch für die Aus-, Fort- und Weiterbildung. Lehrbuch für den von der Staatlichen Zentralstelle für den Fernunterricht (ZFU) anerkannten Fernlehrgang: Stressmanagementtrainer der Celsusakademie*. Bremen: Niebank-Rusch-Verlag.
- Rützel, J. (2013). Randgruppen in der beruflichen Bildung. In R. Arnold & A. Lipsmeier (Hrsg.), *Handbuch der Berufsbildung* (S. 109–123). Opladen: Springer.

- Ryan, R. M. (1998) Commentary: Human Psychological Needs and Issues of Volition, Control and Outcome Focus. In J. Heckhausen & C. Dweck (Hrsg.), *Motivation and Self Regulation Across the Lifespan* (S. 114-133). Cambridge: Cambridge University Press.
- Sachs, L. (2013). *Angewandte Statistik. Anwendung statistischer Methoden* (7. Auflage). Heidelberg, Berlin: Springer.
- Sager, O. (2014). *Physik in nullter Näherung: Wissen - Vermutung - Spekulation*. Norderstedt: BoD – Books on Demand.
- Salomon, G. (1979). *Interaction of media, cognition and learning: an exploration of how symbolic forms cultivate mental skills and affect knowledge acquisition*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Salzmann, P. (2015). *Lernen durch kollegiales Feedback: Die Sicht von Lehrpersonen und Schulleitungen in der Berufsbildung*. Münster: Waxmann Verlag.
- Sander, E. (2009). Entwicklungspsychologie des Schulkindalters – Zusammenfassung und Übungsaufgaben. <http://www.bildungsserver.de/db/mlesen.html?Id=34765> (Letzter Zugriff 27.06.2014)
- Schäfer, L. (2009). *Werkpädagogik als pädagogischer Handlungsansatz in der Erwachsenenbildung: Persönlichkeitsentwicklung durch Integration vernachlässigter Aspekte des Lehrens und Lernens*. Hamburg: Diplomica Verlag GmbH.
- Schäfer, T. (2010). *Deskriptive und explorative Datenanalyse*. Wiesbaden: Springer.
- Schanz, H. (2013). *Betriebliches Ausbildungswesen*. Wiesbaden: Springer.
- Schanz, S. (2002). Simulation eines Computertomografen mit Monte Carlo Methoden. Diplomarbeit. https://webuser.hs-furtwangen.de/~neutron/download/forschung/schanz_diplomarbeit.pdf (Letzter Zugriff: 19.08.2017)

- Scharnbacher, K. & Holland, H. (2013). *Grundlagen statistischer Wahrscheinlichkeiten: Kombinationen, Wahrscheinlichkeiten, Binomial-und Normalverteilung, Konfidenzintervalle, Hypothesentests*. Wiesbaden: Springer.
- Schecker, H. & Parchmann, I. (2006) Modellierung naturwissenschaftlicher Kompetenz. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften. http://archiv.ipn.uni-kiel.de/zfdn/pdf/003_12.pdf (Letzter Zugriff: 03.10.2015)
- Schedler, M., Schroffenegger, T., Pichler, S. & Plaschke, G. (2013). Experimente. Simulationen. <http://www.e-vms.at/ph/experimente/> (Letzter Zugriff: 14.11.2016)
- Scheining, A. & Grabner, B. (2013). „Kinder in die Technik“ eine Kooperation der HTL Mössingerstraße und des Kindergartens Sonnenschein https://www.imst.ac.at/files/projekte/1058/berichte/1058_Langfassung_Scheinig.pdf (Letzter Zugriff: 11.12.2016)
- Scheller, P. (2010). *Verständlichkeit im Physikschulbuch: Kriterien und Ergebnisse einer interdisziplinären Analyse*. Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt.
- Schendera, C. F. (2010). *Clusteranalyse mit SPSS: Mit Faktorenanalyse*. München: Oldenbourg Verlag.
- Scherp, A. & Schlattmann, M. (2002). Virtuelle Labore für den naturwissenschaftlichen (Schul-)Unterricht. Multimedia und Internet-Informationssysteme. <http://ansgarscherp.net/publications/pdf/C02-ScherpSchlattmann-VirtuelleLaboreFuerDenNaturwissenschaftlichenSchulunterricht.pdf> (Letzter Zugriff: 09.04.2015)
- Scherp, A. (2001). *Vorgehensmodell und Entwicklungsmethodik für virtuelle Labore*. Oldenburg: Carl von Ossietzky Universität.
- Schick, H. (2008). *Hochbegabung und Schule*. Münster: LIT Verlag.
- Schiefele, U. (2009). Entwicklung und Förderung motivationale Merkmale. In E. Wild & J. Möller (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie (Lehrbuch mit Online-Materialien)* (S. 170-175). Heidelberg: Springer-Verlag.

- Schiefele, U. & Schaffner, E. (2015). Motivation. In E. Wild & J. Möller (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (2. Auflage, S. 151-177). Heidelberg: Springer Medizin Verlag.
- Schiefele, U. & Streblow, L. (2006). Motivation aktivieren. In H. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Handbuch Lernstrategien* (S. 232-247). Göttingen: Hogrefe.
- Schiefele, U. (1996). *Motivation und Lernen mit Texten*. Göttingen, Seattle: Hogrefe.
- Schiefele, U. (2004). Förderung von Interesse. In G. W. Lauth, M. Grünke & J. C. Brunstein (Hrsg.), *Interventionen bei Lernstörungen* (S. 134-144). Göttingen: Hogrefe.
- Schiefele, U. (2008). Lernmotivation und Interesse. In W. Schneider & M. Hasselhorn (Hrsg.), *Handbuch der Psychologie, Bd. Pädagogische Psychologie* (S. 38-49). Göttingen: Hogrefe.
- Schiefele, U. (2009). Situational and Individual Interest. In K. Wentzel & A. Wigfield (Hrsg.), *Handbook of Motivation at School* (S. 197-223). New York: Routledge.
- Schiefele, U. (2011). Motivation. In E. Wild & J. Möller (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (S. 151-163.). Heidelberg: Springer Medizin Verlag.
- Schlag, B. (2012). *Lern- und Leistungsmotivation* (4. Auflage). Wiesbaden: Springer VS.
- Schlenker, D. (2015). Kompetenzfeld „Smarte Objekte“. Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA. http://www.ipa.fraunhofer.de/industrie4-0_kompetenzen3.html (Letzter Zugriff: 17.03.2017)
- Schließmann, F. (2012). Das Projekt „Versuch macht klug“. <https://www.hs-magdeburg.de/fachbereiche/f-ahumanw/studiengaenge/kiwi/fachtagungen/kita-und-schule-im-dialog/schliessmann-versuch-macht-klug.pdf> (Letzter Zugriff: 14.11.2013)
- Schmalt, H.-D. & Langens, T. A. (2009). *Motivation* (4. Auflage). Stuttgart: Kohlhammer Verlag.

- Schmich, J. & Bitesnich, H. (2013). PISA 2012. Motivation und Selbstwahrnehmung der 15-16-Jährigen in Mathematik Internationaler Vergleich von Schülerleistungen. In U. Schwantner, B. Toferer & C. Schreiner (Hrsg.), *Erste Ergebnisse Mathematik, Lesen, Naturwissenschaft* (1. Auflage, S. 42-43). Graz: Leykam.
- Schnotz, W. (2009). *Pädagogische Psychologie kompakt* (1. Auflage). Weinheim: Beltz.
- Schoor, C. & Bannert, M. (2013). Aspects of dynamics in motivation: What the cooperative situation and individual motivation contribute to motivation during computer-supported cooperative learning. *Unterrichtswissenschaft*, 41(4), 330-347.
- Schraw, G., Flowerday, T. & Lehman, S. (2001). Increasing situational Interest in the Classroom. *Educational Psychology Review*, 13 (3), 211-224.
- Schröder, M. (2010). *Förderung der Leistungsbereitschaft in unternehmensübergreifenden Projektteams: eine empirische Analyse*. Lohmar: Josef Eul Verlag.
- Schröter, E. & Erb, R. (2006). Befassen sich Jugendliche im Internet mit Physik? *PhyDid* 5, 105-116.
- Schubert, S. (2013). *Innovative Konzepte für die Ausbildung: 6. GI-Fachtagung Informatik und Schule INFOS '95 Chemnitz, 25.–28. September 1995*. Chemnitz: Springer-Verlag.
- Schuhen, M. & Froitzheim, M. (2014). *Das elektronische Schulbuch: Fachdidaktische Anforderungen und Lösungsvorschläge der Informatik*. Münster: LIT Verlag.
- Schulmeister, R. (2011). Lernen in virtuellen Klassenräumen. In L. Issing & P. Klimsa (Hrsg.), *Online-Lernen. Handbuch für Wissenschaft und Praxis* (S. 179-194). München: Oldenbourg.
- Schumacher, M. & Schulgen-Kristiansen, G. (2013). *Methodik klinischer Studien: Methodische Grundlagen der Planung, Durchführung und Auswertung*. Heidelberg: Springer-Verlag.

- Schumacher, S. (2014). *Mitarbeitermotivation: Menschenbilder und Motivationstheorien*. Norderstedt: GRIN Verlag.
- Schürt, V. & Waburg, W. (2007). Geschlechtsspezifisch und / oder Fachtypik – Selbstwirksamkeit, Interesse, Stimmung und körperliches (Wohl)Befinden von Schülerinnen in ausgewählten Schulfächern im Vergleich. In L. Herwartz-Emden (Hrsg.), *Neues aus alten Schulen – empirische Studien in Mädchenschulen* (S. 115-160). Opladen: Barbara Budrich.
- Schuster, N. & Gagrira, N. (2014). *E-Learning Basics. E-Learning Methoden und deren Einsatz einfach erklärt*. Hamburg: Imprint der Diplommica Verlag GmbH.
- Schütt, M.-L. (2015). *E-Learning als Baustein im inklusiven Unterstützungs- und Beratungssystem in Deutschland: Konzeption, Implementierung und Evaluation des Onlineangebots „MIT BISS“ für Regelschullehrerinnen und Regelschullehrer*. Münster: Waxmann Verlag.
- Schwan, S. & Buder, J. (2006). Virtuelle Realität und E-Learning. **Fehler! Linkreferenz ungültig.** (Stand: 24.03.2006)
- Schwandt, F. (Hrsg.) (2015). Statista Lexikon. Hamburg: Eigenverlag. **Fehler! Linkreferenz ungültig.** (Stand: 01.10. 2015)
- Schwarz, J. (2016) Universität Zürich. Methodenberatung. <http://www.methodenberatung.uzh.ch/de.html> (Letzter Zugriff: 14.12.2017)
- Schweickert, F., Christian, W., Roth, D. & Jodl, H. (2001). Physlets – Computersimulationen im Physikunterricht. <http://www.univie.ac.at/pluslucis/PlusLucis/013/Physlets.pdf> (Letzter Zugriff: 22.08.2015)
- Scobel, W., Lindström, G. & Langkau, R. (2002). *Physik kompakt*. Berlin: Springer.
- Seel, N. M. & Hanke, U. (2014). *Erziehungswissenschaft: Lehrbuch für Bachelor-, Master- und Lehramtsstudierende*. Heidelberg: Springer-Verlag.

- Seidel, T. & Krapp, A. (2014). *Pädagogische Psychologie: Mit Online-Materialien zum Download* (6., vollständig überarbeitete Auflage). Weinheim: Beltz.
- Seidel, T., Prenzel, M., Rimmele, R., Dalehefte, I. M., Herweg, C., Kobarg, M. & Schwindt, K. (2006). Blicke auf den Physikunterricht. Ergebnisse der IPN Videostudie. *Zeitschrift für Pädagogik*, 52(6), 798-821.
- Selge, J. (2015). *Anstöße für eine zeitgemäße Lernkultur mit Digitalen Medien*. Raleigh: Lulu Verlag.
- Shushulova, M. (2009). Motivation und Wirkung von E-Learning: Wirkungsanalyse eines programmierten Unterrichts am Beispiel eines internationalen Unternehmens unter der besonderen Berücksichtigung des personenbezogenen Merkmals – Motivation. Hamburg: Diplomica® Verlag.
- Si, J. (2015). *Mythos Flow. Steigerung der intrinsischen Motivation*. Norderstedt: GRIN Verlag.
- Siebert, H. (2011). *Theorien für die Praxis*. Bielefeld: Bertelsmann Verlag.
- Solomon, J. (1980). *Teaching Children in the Laboratory*. London: Routledge Kegan & Paul.
- Sommer, K., Strippel, C., Schaffer, S. & Wieczorek, R. (2013). Umgang mit fachmethodischen Begriffen in Versuchsvorschriften. [http://psydok.sulb.uni-saarland.de/volltexte/2013/4733/pdf/Sommer et al. 2010 Fachmethodische Begriffe.pdf](http://psydok.sulb.uni-saarland.de/volltexte/2013/4733/pdf/Sommer_et_al._2010_Fachmethodische_Begriffe.pdf) (Letzter Zugriff: 19.08.2017)
- Sparks, K. (2014). *2014 – Book of the year*. Chicago: Britannica Inc.
- Spöc, B. (2011). Anstrengungsvermeidungsmotivation als spezifisches im beruflichen und schulischen Kontext von Lehrlingen. Naturwissenschaftliche Diplomarbeit. **Fehler! Linkreferenz ungültig.** (Letzter Zugriff: 14.03.2017)
- Sprenger, R. K. (2010). *Mythos Motivation. Wege aus einer Sackgasse* (19. Auflage). Frankfurt, New York: Campus Verlag.

- Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung. (2016). Lehrplan. <http://www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1.neu/g8.de/index.php?StoryID=26382&PHPSESSID=8c0b56f2d30d2e76019c41e48b354bd5> (Letzter Zugriff: 21.08.2017)
- Stadler, H., Hackl, B. & Krumphals, I. (2010). Gender issues in physics education – a comparative study of physics education at the secondary level in Austria and Ireland”. Abschlussbericht zu einer Feldstudie. http://lise.univie.ac.at/artikel/Stadler_Endbericht_Irland.pdf (Letzter Zugriff: 09.02.2016)
- Stadler, H., Lembens, A. & Weiglhofer, H. (2009). PISA Naturwissenschaft. In C. Schreiner & U. Schwantner (Hrsg.), *PISA 2006: Österreichischer Expertenbericht zum Naturwissenschafts-Schwerpunkt*. Graz: Leykam.
- Stadtfeld, P. (2004). *Allgemeine Didaktik und Neue Medien: der Einfluss der Neuen Medien auf didaktische Theorie und Praxis*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Stangl, W. (2014). Stichwort. Lernmotive und Lernmotivation. <http://arbeitsblaetter.stangl-taller.at/MOTIVATION/Lernmotivation.shtml> (Letzter Zugriff: 15.11.2014)
- Stangl, W. (2015). Lexikon online für Psychologie und Pädagogik. <http://lexikon.stangl.eu/4925/selbstkonzept/> (Letzter Zugriff: 15.03.2017)
- Stern, T., Jelemenská, P. & Radits, F. (2009). PISA 2006: Schülerleistungen im Vergleich. Österreichischer Expertenbericht zum Naturwissenschafts-Schwerpunkt. Das Interesse an Naturwissenschaften: Eine Analyse der österreichischen PISA-2006-Ergebnisse. <https://www.bifie.at/buch/815/8/3> (Letzter Zugriff: 20.08.2017)
- Sterzel, J. (2011). *Bewertungs- und Entscheidungsrelevanz der Humankapitalbericht-erstattung. Eine experimentelle Analyse aus der Perspektive privater Anleger*. Wiesbaden: Gabler.
- Stevens, J. (2007). *Intermediate Statistics. A Modern Approach* (Third Edition). London: Erlbaum.

- Stieler-Lorenz, B. Krause, A. (2003). E-Learning in der Weiterbildung – Chance oder Krise? E-Learning – die Wunderwaffe, um Herausforderungen der Wissensgesellschaft in der Weiterbildung zu bewältigen? In A. Wendt und J. Caumanns (Hrsg.), *Arbeitsprozessorientierte Weiterbildung und E-Learning. Vom Content zum Coaching. E-Learning in arbeitsprozessorientierten Lernszenarien* (S. 35-45). Münster: Waxmann.
- Stolz, A. & Erb, R. (2012). Experimentiersituationen mit unterschiedlichem Öffnungsgrad. In S. Bernholt (Hrsg.), *Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDChP). Inquiry-based Learning – Forschendes Lernen* (S. 83-86). Kiel: IPN.
- Storch, D. L. (2012). *Diagnostik von Leistungsmotivation im interkulturellen Vergleich und der Zusammenhang mit Prosozialität*. München: Herbert Utz Verlag.
- Strahl, A. & Preißler, I. (2014). *Fachdidaktik der Naturwissenschaften unter besonderer Berücksichtigung der Physik*. Braunschweig: Norderstedt.
- Strauß, S. (2016). Peer Education und Gewaltprävention: *Theorie und Praxis dargestellt am Projekt Schlagfertig*. Freiburg: Centaurus-Verlag.
- Strickland, J. (2007). HowStuffWorks „Virtual Interaction“. HowStuffWorks. <http://electronics.howstuffworks.com/gadgets/other-gadgets/virtual-reality.htm> (Letzter Zugriff: 14.03.2014)
- Stuhlmann, K. (2005). Entwicklung der Lern- und Leistungsmotivation im Übergang von der Adoleszenz ins frühe Erwachsenenalter. *Zeitschrift für Soziologie der Erziehung und Sozialisation* 25(2), 67-81.
- Subramaniam, P. (2009). Motivational Effects of Interest on Student Engagement and Learning in Physical Education: A Review. http://www.unco.edu/cebs/psychology/kevin_pugh/motivation_project/resources/subramaniam.pdf (Letzter Zugriff: 22.08.2014)
- Suchan, B., Wallner-Paschon, C. & Schreiner, C. (2010). TIMSS 2007: *Mathematik & Naturwissenschaft in der Grundschule Österreichischer Expertenbericht* (1. Auflage). Graz: Leykam.

- Suhl, L. (2014). Simulation. Universität Paderborn. <http://dsor-lectures.upb.de/index.php?id=simulation> (Stand: 16.12.2014)
- Teichmann, J., Ball, E. & Wagmüller, J. (1986). *Einfache physikalische Versuche zu Geschichte und Gegenwart*. München: Deutsches Museum.
- Ternès, A., Schultze, N. & Meetz, N. (2017). *Welt 4.0. Trends und Tendenzen*. München: Akademische Verlagsgemeinschaft
- Terz, P. (2009). Interesses Theorie. Eine Studie im Koordinatensystem von Philosophie, Epistemologie und Völkerrechtssoziologie. *Pap. Polít. Bogotá (colombia)*. 1(14), 223-272.
- Tesch, M. & Duit, R. (2004). Experimentieren im Physikunterricht–Ergebnisse einer Videostudie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 10(10), 51-69.
- Tesch, M. (2005). *Das Experiment im Physikunterricht*. Berlin: Logos.
- Tetens, H. (1987). *Experimentelle Erfahrung: eine wissenschaftstheoretische Studie über die Rolle des Experiments in der Begriffs- und Theoriebildung der Physik*. Hamburg: Meiner Verlag.
- Thissen, F. (1997). Das Lernen neu erfinden – konstruktivistische Grundlagen einer Multimedia-Didaktik. In U. Beck & W. Sommer (Hrsg.), *Learntec 97. Europäischer Kongress für Bildungstechnologie und betriebliche Bildung* (S. 69-79). Karlsruhe: Karlsruher Kongress Verlag.
- Thoms, L. & Girwidz, R. (2012). Scaffolding Inquiry-Based Learning in Remotely Controlled Laboratories. In S. Bernholt (Hrsg.), *Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDChP). Inquiry-based Learning – Forschendes Lernen* (S. 113-115). Kiel: IPN.
- Thomsen, Ch. & Jeschke, S. (2010). Virtuelle Labore und Remote Experimente in den Naturwissenschaften. In N. Apostolopoulos, U. Mußmann, K. Rebensburg, A. Schwill & F. Wulschke (Hrsg.), *Grundfragen Multimedialen Lehrens und Lernens: E-Kooperation und E-Praxis* (S. 207-218). Münster: Waxmann.

- Thordarson, K. (2014). Working to Define Blended Learning. <http://rtl14.techlearning.com/default.aspx?tabid=100&entryid=7529> (Letzter Zugriff: 09.03.2015)
- Tillmann, A. (2011). Virtuelle Versuche. <http://www.einstieg.com/studium/was-studieren/ingenieurwissenschaften-technik/news/virtuelle-versuche.html> (Stand 18.08.2011)
- Todt, E. (1990). Entwicklung des Interesses. In H. Hetzer, E. Todt, I. Seiffge-Krenke & R. Arbing (Hrsg.), *Angewandte Entwicklungspsychologie des Kindes- und Jugendalters* (2. überarb. & ergänzte Auflage, S. 213-264). Heidelberg: Quelle & Meyer.
- Tomandl, M., Kroon, L-V., Hopf, M. & Arndt, M. (2013). Interaktive Forschungssimulationen. *Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule*. 8(62), 31-36.
- Trampisch, H. & Windeler, J. (2013). *Medizinische Statistik*. Heidelberg: Springer-Verlag.
- Tulodziecki, G., Grafe, S. & Herzig, B. (2013). *Gestaltungsorientierte Bildungsforschung und Didaktik: Theorie – Empirie – Praxis*. Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt.
- Tulodziecki, G., Herzig, B. & Blömeke, S. (2004). *Gestaltung von Unterricht. Eine Einführung in die Didaktik*. Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt.
- Theyßen, H. (2014). Methodik von Vergleichsstudien zur Wirkung von Unterrichtsmedien
In: D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 67-79). Heidelberg: Springer
- Unger, A. (2010). Virtuelle Räume und die Hybridisierung der Alltagswelt. In P. Grell, W. Marotzki & H. Schelhowe (Hrsg.), *Neue digitale Kultur- und Bildungsräume* (S. 99-118). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Universität Bielefeld. (2016). Pädagogische Psychologie. Forschung. Pädagogische Psychologie-theoretische Perspektive. <http://www.uni-bielefeld.de/psychologie/ae/AE09/forschung/motivation.html> (Letzter Zugriff: 19.09.2016)

- Unterberger, C. (2013). Empirische Untersuchungen. Informationen zur Genehmigung von empirischen Untersuchungen. <http://www.lsr-noe.gv.at/aktuelles/umfragen.html> (Letzter Zugriff: 12.11.2013)
- Urban-Woldron, H. (2004). Neues Lernen mit Neuen Medien? Projekt Imst. https://www.imst.ac.at/imst-wiki/images/6/6e/Langfassung_Urban_Woldron.pdf (Letzter Zugriff: 13.07.2017)
- Urban-Woldron, H. (2009). Fördert computerunterstützter Unterricht Lernmotivation und kognitive Lernaktivitäten? Begleitforschung von Projekten des IMS Fonds zum Lernen von Physik mit Neuen Medien. IMST – Fonds für Unterrichts- und Schulentwicklung. https://www.imst.ac.at/imst-wiki/images/8/8c/Kurzfassung_Urban-Woldron_2009.pdf (Letzter Zugriff: 09.08.2017)
- VDI (2000). *Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen. Richtlinie 3633*. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- Vogt, P. (2010). *Werbeaufgaben im Physikunterricht: Motivations- und Lernwirksamkeit authentischer Texte*. Heidelberg: Springer-Verlag.
- Völker, M. & Trefzger, T. (2011). Ergebnisse einer explorativen empirischen Untersuchung zum Lehr-Lern-Labor im Lehramtsstudium. PhyDid B-Didaktik der Physik-Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung. <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/292/401> (Letzter Zugriff: 09.12.2015)
- Vollmeyer, R. & Rheinberg, F. (2003). Aktuelle Motivation und Motivation im Verlauf. In J. Stiensmeier-Pelster & F. Rheinberg (Hrsg.), *Diagnostik von Motivation und Selbstkonzept* (S. 281-295). Göttingen: Hogrefe.
- Waack, S. (2015). Einflussfaktoren und Effektstärken in Bezug auf den Lernerfolg. Lernen sichtbar machen. <http://visible-learning.org/de/hattie-rangliste-einflussgroessen-effekte-lernerfolg/> (Letzter Zugriff: 04.01.2015)
- Wagenschein, M. (2003). *Kinder auf dem Wege zur Physik*. Weinheim: Beltz.

- Wagenschein, M. (2009). *Naturphänomene sehen und verstehen*. Bern: Hep-Verlag.
- Wahlen, C. (2010). *Mentaltraining für den erfolgreichen Day-Trader: So steigern Sie Ihr Tradingergebnis*. München: FinanzBuch Verlag.
- Walber, M. (2015). Konstruktionen virtueller Lernräume. In W. Wittwer, A. Diettrich & M. Walber (Hrsg.), *Lernräume: Gestaltung von Lernumgebungen für Weiterbildung* (S. 231-240). Wiesbaden: Springer-Verlag.
- Waldis, M. (2012). *Interesse an Mathematik. Zum Einfluss des Unterrichts auf das Interesse von Schülerinnen und Schülern in der Sekundarstufe I*. Münster: Waxmann Verlag.
- Walker, F. (2013). Das technische Experiment – Ein Vergleich von Schüler-, Demonstrationsexperiment und dem lesenden Bearbeiten eines Experiments. *Journal of Technical Education*, 1(1), 75-97.
- Wallmüller, E. (2017). *Praxiswissen Digitale Transformation: Den Wandel verstehen, Lösungen entwickeln, Wertschöpfung steigern*. Göttingen: Carl Hanser Verlag.
- Walther, E. (2010). *Befragung von Kindern und Jugendlichen: Grundlagen, Methoden und Anwendungsfelder*. Göttingen [u.a.]: Hogrefe.
- Wampfler, P. (2016). *Facebook, Blogs und Wikis in der Schule: Ein Social-Media-Leitfaden*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Wayne, W. (2016). The Role of Probability. Central Limit Theorem. Boston University School of Public Health. http://sphweb.bumc.bu.edu/otlt/mph-modules/bs/bs704/probability/BS704_Probability12.html (Letzter Zugriff: 19.04.2017)
- Weber, C. (2012). *Interdependenzen zwischen Emotion, Motivation und Kognition in Selbstregulierten Lernprozessen: Befähigung zum lebenslangen Lernen durch Mehrdimensionalität der Lehr-Lern-Prozesskonzeptionen*. Hamburg: Diplomica Verlag.

- Weber, S. (2003). Virtuelle Experimente aus der Elektrizitätslehre. <http://www.lehrer-online.de/virtuelle-elektrizitaetslehre.php> (Stand: 10.07.2003)
- Wegner, C., Grügelsiepe, S. & Dück, A. (2012). Das Experiment im Fokus der fachdidaktischen Forschung. http://www.uni-bielefeld.de/biologie/Didaktik/BotZell/ABB/ABB_Jahrbuch-komplett-small.pdf#page=61 (Letzter Zugriff 14.03.2016)
- Weiber, R. & Mülhauß, D. (2014). *Strukturgleichungsmodellierung: Eine anwendungsorientierte Einführung in die Kausalanalyse mit Hilfe von AMOS, SmartPLS und SPSS*. Heidelberg: Springer.
- Weidenmann, B. (2002). Multicodierung und Multimodalität im Lernprozess. In L. J. Issing und P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia* (3., vollst. überarb. Auflage, S. 5–17). Weinheim: Beltz.
- Weidenmann, B. (2006). Lernen mit Medien. In A. Krapp & B. Weidenmann (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (5., vollst. überarb. Auflage, S. 423-476). Weinheim: Beltz.
- Weiglhofer, H. (2009). Kompetenzmodelle in deutschsprachigen Ländern. **Fehler! Linkreferenz ungültig.** (Stand 9.10.2009)
- Weinert, F. E. (2001). Concept of Competence. Defining and Selecting of Competencies. Max Planck Institute for Psychological Research <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.111.1152&rep=rep1&type=pdf> (Letzter Zugriff: 18.09.2015)
- Weinmann, S. (2006). *Evidenzbasierte Psychiatrie: Methoden und Anwendung*. Stuttgart: Kohlhammer Verlag.
- Weiße, C. (2013). *Basiswissen Medizinische Statistik*. Heidelberg: Springer-Verlag.
- Weiße, J. (2005). *Die Zeit – das Lexikon* 7. 7. Hamburg: Zeitverlag Bucerius.
- Weißeno, G., & Eck, V. (2013). *Wissen, Selbstkonzept und Fachinteresse: Ergebnisse einer Interventionsstudie zur Politikkompetenz*. Münster: Waxmann Verlag.

- Wellek S, Blettner M: On the proper use of the crossover design in clinical trials: part 18 of a series on evaluation of scientific publications. *Dtsch Arztebl Int* 2012; 109(15): 276–81. DOI: 10.3238/arztebl.2012.0276 (vorgeschriebene Zitierweise).
- Weltner, K. (2013). Physik und Chemie am wenigsten beliebt. *Physikalische Blätter*, 35(9), 419-421.
- Welzel, M., Maller, K., Bandiera, M., Hammelev, D., Koumaras, F., Niedderer, H., Paulsen, A., Robinault, K. & Aufschnaiter, S. (1998). *Ziele, die Lehrende mit dem Experimentieren in der naturwissenschaftlichen Ausbildung verbinden – Ergebnisse einer europäischen Umfrage. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 4, 29-44.
- Wenzel, H. (2013). Schule und Gewalt. In H. Wenzel & W. Helsper (Hrsg.), *Studien zu Erziehungswissenschaft und Bildungsforschung. Pädagogik und Gewalt. Möglichkeiten und Grenzen des pädagogischen Handelns* (S. 165 - 179). Wiesbaden: Springer-Verlag.
- Weritz, W. (2011). Verwendung Neuer Medien in der Sekundarstufe I – Beispiele aus dem mathematischen-naturwissenschaftlichen Unterricht. In C. Albers, J. Magenheimer & D. Meister (Hrsg.), *Schule in der digitalen Welt* (S. 145-163). Wiesbaden: Springer
- Werner, C. (2013). *Handbuch Organisationsdiagnose*. München: Herbert Utz Verlag.
- Weßnigk, S. & Euler, M. (2011). Projektarbeit im Schülerlabor. Rückwirkungen auf das Image von Physik. In S. Bernholt (Hrsg.), *Konzepte fachdidaktische Strukturierung für den Unterricht* (S. 84–86). Münster: Lit Verlag.
- Westphal, N. (2014). Evaluation von phänomenbasiertem Physikunterricht. Seine Merkmale und Wirkungen auf stereotypen, Selbstkonzept und Interesse. Dissertation. <http://edoc.hu-berlin.de/dissertationen/westphal-nico-2014-07-23/PDF/westphal.pdf> (Letzter Zugriff: 04.02.2017)

- Wieg, M. & Treeck, T. (2011). Fachbezogene Unterschiede bei E-Learning-Umsetzungen. Konsequenzen für die hochschuldidaktische Weiterbildung. In I. Jahnke & J. Wildt (Hrsg.), *Fachbezogene und fachübergreifende Hochschuldidaktik* (S. 157-166). Bielefeld: Bertelsmann Verlag.
- Wiesner, H., Berger, R., Girwidz, R., Heering, P., Höttecke, D., Hopf, M., Leisen, J. & Schecker, H. (2011). *Physikdidaktik kompakt*. Hallbergmoos: Aulis Verlag.
- Wild, E. & Möller, J. (2009). *Pädagogische Psychologie*. Heidelberg: Springer.
- Wild, E. & Möller, J. (2015). *Pädagogische Psychologie*. Heidelberg: Springer.
- Wildbühler, M., Stelzer, B., Schiebel, E. & Brecht, L. (2016). Internet der Dinge: Hype oder ernsthafte Herausforderung für die Wissenschaft und Unternehmenspraxis? In D. Schallmo, A. Rusnjak, J. Anzengruber, T. Werani & M. Jünger (Hrsg.), *Digitale Transformation von Geschäftsmodellen: Grundlagen, Instrumente und Best Practices*. Wiesbaden SpringerGabler.
- Wilkening, F., Freund, A. M. & Martin, M. (2013). *Entwicklungspsychologie kompakt: Mit Online-Materialien*. Weinheim: Beltz.
- Willer, J. (2003). *Didaktik des Physikunterrichts*. Frankfurt am Main: Wissenschaftlicher Verlag.
- Wimmer, J., Wolling, J. & Rothermund, K. (2012). *Motivation Und Emotion*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Winkelmann, J. (2015). *Auswirkungen auf den Fachwissenszuwachs und auf affektive Schülermerkmale durch Schüler- und Demonstrationsexperimente im Physikunterricht*. Berlin: Logos.
- Winkler, H. (2004): Mediendefinition. Medienwissenschaft – Rezensionen, Reviews, Nr.1. <http://homepages.uni-paderborn.de/winkler/medidef.pdf> (Letzter Zugriff: 26.10.2014)

- Winther, E. (2007). *Motivation in Lernprozessen: Konzepte in der Unterrichtspraxis von Wirtschaftsgymnasien*. Dissertation. Göttingen: Deutscher Universität-Verlag.
- Winther, E. (2015). Lernen motiviert: Ein Interventionskonzept zur Förderung der Motivation in Lernprozessen. In P. Gonon, R. Huisinga, F. Klauser & R. Nickolaus (Hrsg.), *Kompetenz, Kognition und Neue Konzepte der beruflichen Bildung* (S. 219-237). Heidelberg: Springer-Verlag.
- Wiswede, G. (2004). *Sozialpsychologie-Lexikon*. Oldenbourg: Walter de Gruyter.
- Witt, C. & Czerwionka, T. (2013). *Mediendidaktik* (2. Auflage). Bielefeld: Bertelsmann.
- Wittwer, W., Diettrich, A. & Walber, M. (2014). *Lernräume: Gestaltung von Lernumgebungen für Weiterbildung*. Wiesbaden: Springer-Verlag.
- Wodzinski, R. (2006). Mädchen im Physikunterricht. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik: Theorie und Praxis* (2. Auflage, S. 583-604). Heidelberg: Springer.
- Wodzinski, R. (2015). Leistungsheterogenität im naturwissenschaftlichen Unterricht – methodische Ansätze und empirische Befunde. In S. Bernholt (Hrsg.), *Heterogenität und Diversität – Vielfalt der Voraussetzungen im naturwissenschaftlichen Unterricht. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik Jahrestagung in Bremen 2014* (S. 31–43). Münster: Lit Verlag.
- Wolf, A. (2012). Zusammenhänge zwischen der Eigenständigkeit im Physikunterricht, der Motivation, den Grundbedürfnissen und dem Lernerfolg von Schülern. In H. Niedderer, H. Fischler & E. Sumfleth (Hrsg.), *Studien zum Physik- und Chemielernen (Band 131)*. Berlin: Logos.
- Wollsching-Strobel, P., Wollsching-Strobel, U., Sternecker, P. & Hänsel, F. (2009). *Die Leistungsformel: Spitzenleistung gestalten und erhalten*. Wiesbaden: Springer-Verlag.

- Wolter, M. (2007). Blended Learning. Vor- und Nachteile von verschiedenen Lerntypen. In A. Kaiser & R. Hohmann (Hrsg.), *Lerntypen-Lernumgebung-Lernerfolg. Erwachsene im Lernfeld* (S. 125-145). Bielefeld: Bertelsmann Verlag.
- Worthmann, F. (2013). *Literarische Wertungen: Vorschläge für ein deskriptives Modell*. Heidelberg: Springer-Verlag.
- Wurtele, V. (2004). Leistungsmotivation. Grundfrage: Welche motivationalen Kräfte bewegen Menschen dazu, verschiedene Leistungsniveaus anzustreben? <http://slideplayer.org/slide/645522/> (Letzter Zugriff: 14.11.2016)
- You, Y.-D. (2001). *Das Flow-Erlebnis und seine empirischen Implikationen für die Psychotherapie*. München: Herbert Utz Verlag.
- Zaharia, S. (2006). *Multi-Channel-Retailing und Kundenverhalten. Wie sich Kunden informieren und wie sie einkaufen*. Köln: Eul Verlag.
- Zander, S. (2010). *Motivationale Lernervoraussetzungen in der Cognitive Load Theory. Zwei Studien zum Einfluss motivationaler Lernervoraussetzungen auf die kognitive Belastung beim Lernen mit unterschiedlichen Instruktionsdesigns*. Logos: Berlin.
- Zens, U. (2015). E-Learning. Behaviorismus. <http://e-learning.typepad.com/elearning/2005/05/behaviorismus.html> (Stand 09.02.2015)
- Zhang, L. & Gu, Y. (2013). *Information Systems and Computing Technology*. London: CRC Press.
- Ziegler, A., Grassinger R. & Harder, B. (2008). Begabungs- Expertise und Innovationsforschung. *News&science* 20/3, 34-39.
- Zimbardo, P. G. (2013). *Psychologie* (Volume I). Berlin: Springer-Verlag.

- Zimmer, G. (1999). Konzeptualisierung der pädagogischen Infrastruktur für die telematischen Lehr- und Lernformen an der „Virtuellen Fachhochschule“. In A. Cuvry, F. Haeberlin, W. Michl & H. Breß (Hrsg.), *Erlebnis Erwachsenenbildung. Zur Aktualität handlungsorientierter Pädagogik* (S. 98-109). Neuwied: Luchterhand.
- Zrnka, S. (2009). *E-Le@rning im Studium: Funktionalität und Nutzung von Lernplattformen am Beispiel der WU Wien*. Norderstedt: GRIN Verlag.
- Zumbach, J. (2010). *Lernen mit Neuen Medien – Instruktionspsychologische Grundlagen*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Zumholz, H. (2013). *Wege in die Selbstständigkeit: Die Gründungsaktivität als Resultat eines individuellen Entwicklungsprozesses*. Berlin: Springer-Verlag.

9 Anhang

9.1 Gästebucheinträge zum virtuellen Versuch

Im Anhang werden alle Einträge bis 01.05.2017 angeführt – danach wurde das Gästebuch wieder geschlossen. Grammatik- oder Rechtschreibfehler wurden unter Wahrung der Authentizität in diesem Abschnitt nicht korrigiert.

#65 Severin (Freitag, 28 April 2017 18:56)

Versuche am Computer machen Spaß.

Aber auch Versuche in der Klasse.

#64 irrelevant

#63 Sandra (Mittwoch, 19 April 2017 20:58)

Mir gefällt es sehr gut Versuche am Computer zu machen, weil man sie vielleicht besser versteht. Bei den Übungen und Spielen kann man vieles lernen. Immer wenn ich Zeit habe, besuche ich diese Seite.

#62 Celina (Dienstag, 04 April 2017 21:06)

Falls man in der Schule die Versuche nicht ganz versteht oder sich nicht gleich auskennt, finde ich es sehr gut zu Hause am PC die Versuche, Übungen oder Spiele sich nochmals anschauen zu können. Oft ist es durch Spiele auch leichter zu verstehen. Mir hat es sehr viel Spaß gemacht. Sogar meiner Schwester (9) gefiel es und sie probierte es auch gleich aus.

Lg Celina

#61 tayyab (Donnerstag, 30 März 2017 20:53)

Ich finde es sehr cool auf Computer versuche zu machen. Die Versuche in dieser Website sind einfach geil.

Anhang

#60 Nahla (Donnerstag, 30 März 2017 13:03)

Ich mag diese Experimente am Computer lieber weil da nichts passieren kann. Heute wäre fast etwas explodiert.

#59 Fritz (Donnerstag, 30 März 2017 13:02)

Danke Für die drei guten stunden habe mich sehr gefreut

Gute Arbeit weiter so.

=)

#58 Elena (Mittwoch, 29 März 2017 20:48)

Man kann erkennen, dass alles sehr gut gestaltet ist und viel Arbeit dahinter steckt.

Mir gefallen die Versuche am PC, denn man kann alles ausprobieren.

Die Versuche am PC kann man manchmal besser verstehen ,trotzdem mag ich die Versuche im Physiksaal ebenso gerne.

#57 Aras (Mittwoch, 29 März 2017 18:44)

Ich finde das die Seite sehr gut gelungen ist. Die Versuche sind für mich am Computer besser als in "Real-Life" und der Gestalt der Seite ist auch gut gemacht.

#56 Joy (Mittwoch, 29 März 2017 14:35)

Ich finde es zwar cool solche Experimente am Computer zu bearbeiten, aber mir gefällt es im Physiksaal viel besser da ich es einfach besser verstehe, wenn wir die Experimente selbst durchführen.

#55 Lucien (Dienstag, 28 März 2017 08:27)

Irgendwie gefallen mir die versuche am Computer mehr, weil man mehr Ausstattung hat .Großes Lob an die Seite. :)

#54 Sophie (Dienstag, 28 März 2017 08:27)

Mir gefallen die Versuche am Computer etwas besser, weil sie mir mehr Spaß gemacht haben.

Anhang

#53 Berdan (Dienstag, 28 März 2017 08:26)

Ich fand den heutigen versuch sehr cool und würde mich freuen wenn wir sowas öfters machen würden, weil ich glaube das man mit spaß besser und schneller lernen kann.

Liebe Grüße ihr Schüler

Berdan

#52 Armin (Dienstag, 28 März 2017 08:26)

Ich fand den heutigen Versuch sehr interessant und mir hat es sehr spaß gemacht ich konnte es besser verstehen.

#51 Aliyah (Dienstag, 28 März 2017 08:26)

Heute fand ich die Versuche sehr spannend , weil wir selber herum forschen durften. Aber ich würde gerne mehr Material für die Physik Stunde haben. :)

#50 Öykü (Dienstag, 28 März 2017 08:22)

Ich finde ihren Unterricht sehr cool und freue mich auf noch mehr Versuche

#49 Armin (Montag, 27 März 2017 19:23)

Mir gefällt es Versuche am Computer zu machen weil ich es besser lernen kann und es mir Spaß macht.Ich finde das wir öfters solche versuche am Computer machen sollten.

#48 Luca (Freitag, 24 März 2017 10:11)

Mir gefällt die Seite sehr außer den Versuch Feldlinien mit Stabmagnet , weil man fast nichts machen kann. Außerdem verstehe ich nicht was man bei Auftrieb machen kann?

#47 Lara (Freitag, 24 März 2017 09:43)

Ich finde Physik am Computer cooler, weil man am Ende nicht wegräumen muss :)

#46 Thomas (Freitag, 24 März 2017 06:36)

Physik macht mir zur Zeit wirklich Spaß und am Computer machen versuche auch Spaß

#45 Nico (Donnerstag, 23 März 2017 20:30)

Mir persönlich gefallen die Experimente im Physicsaal besser aber die virtuellen Experimente sind auch cool 💎

#44 Tim (Donnerstag, 23 März 2017 19:13)

Diese Seite ist wirklich schön gestaltet und diese Experimente sind wirklich gut zur Hilfe von Physik und macht sehr viel Spaß. Ich hoffe das wir mehr damit machen

#43 Lia (Donnerstag, 23 März 2017 18:46)

Mir gefällt diese P Stunde sehr gut, weil wir alles alleine machen können und man versteht es auch besser. Schöne Seite! :)

#42 Berdan (Donnerstag, 23 März 2017 18:46)

Lieber Herr Berger ich bin sehr zu frieden mit dieser Seite ich hoffe, dass wir öfters sowas machen weil das sehr spaß macht und man versteht besser um was es da geht als wie im Unterricht

Lg Berdan

#41 Luca (Donnerstag, 23 März 2017 16:54)

Ich finde die Versuche am Computer besser , weil man einfach machen kann was man will und im Physiksaal kann man auch was falsches machen was nicht so gut ist! Großes Lob an diese Seite macht echt viel Spaß hier zu arbeiten!

#40 Aldijana (Donnerstag, 23 März 2017 16:29)

Ich finde es sehr cool Versuche am Computer zu machen weil ich jetzt die Physik besser verstehe und es sehr viel Spaß macht =)

#39 Rahel (Donnerstag, 23 März 2017 13:03)

Ich finde das der Unterricht mit Professor Berger sehr viel Spaß gemacht hat und sehr informativ war. Herr Professor Berger gibt sich meiner Meinung nach immer sehr viel Mühe uns die Versuche die wir in den Stunden durchführen gut zu erklären!

Anhang

#38 Tobias (Donnerstag, 23 März 2017 13:02)

Ich finde die Versuche am Computer besser, denn man kann mehr ausprobieren und wenn etwas schiefgeht, macht es nichts.

#37 Minaroan (Donnerstag, 23 März 2017 13:02)

Wir finden das ihre Seite richtig super und cool ist und es eine Abwechslung zum normalen Physikunterricht .

#36 Aida (Donnerstag, 23 März 2017 13:00)

Mir gefällt es mit den Computer zu arbeiten denn dadurch lernt man halt auch was über die Versuche auch normal mag ich es. Physik ist für mich mein Lieblingsfach. Mit den Herrn Berger finde ich es auch cool. Denn er bemüht sich uns das zu erklären. Ich finde es toll. Denn so einen Lehrer hat man sich verdient.

#35 Nahla (Donnerstag, 23 März 2017 12:59)

Es ist sehr interessant diese Experimente am Computer durchzuführen welche sehr gut gestaltet sind. Es ist eine sehr tolle Webside.

#34 Olaf (Donnerstag, 23 März 2017 12:59)

Die Versuche haben mir richtig gefallen. Großes Lob

#33 J (Donnerstag, 23 März 2017 12:57)

Gute Seite es gibt viele interessante Aufgaben.

#32 Fritz (Donnerstag, 23 März 2017 12:57)

Ich war heute sehr erfreut über die Physikstunde

#31 Running Back (Donnerstag, 23 März 2017 12:56)

Mir haben die virtuellen Experimente heute sehr gefallen

#30 Thomas (Donnerstag, 23 März 2017 12:52)

Cooler Seite, man kann viele Experimente ausprobieren. Großes Lob

#29 Matthias (Donnerstag, 23 März 2017 12:37)

Mir hat heute der Unterricht sehr gefallen weil ich Experimente liebe und mich sehr dafür Interessiere. Ich finde es sehr gut das Sie so ein Programm entwickelt haben und sich dafür Interessieren. Mir hat es sehr gut gefallen. Ich bin begeistert das Sie sich dahinter Klemmen.

#28 Paul (Mittwoch, 22 März 2017 21:33)

Mir hat der heutige Versuch gefallen weil Versuche am PC manchmal cooler sind , weil man es besser versteht und ich möchte gerne öfters am Computer Versuche machen

#27 Aliyah (Mittwoch, 22 März 2017 19:25)

Ich finde die Versuche am Computer viel besser; nämlich da versteht man es viel besser.

Ich würde gerne mehr Versuche am Computer machen.

#26 Ali (Mittwoch, 22 März 2017 18:44)

Herr lehrer, die versuche am computer sind ganz cool aber könnten wir auch versuche im Physiksaal machen denn im echten leben könnte es viel cooler sein.

#25 Daniel D. (Mittwoch, 22 März 2017 16:59)

Ich finde die Versuche am Computer sehr interessant und cool.

#24 Daniel D. (Mittwoch, 22 März 2017 16:43)

Ich finde, dass die Versuche auf dem Computer sehr interessant sind und sie machen mir auch Spaß.

#23 Marcus (Dienstag, 21 März 2017 21:27)

Ich mag die Versuche am Computer sehr weil ich viel am Computer arbeite und es wäre toll mehr am Computer zu machen und die Spiel sind auch immer lustig. ;)

Anhang

#22 Nisa (Dienstag, 21 März 2017 19:31)

Die Idee hilft mir sehr und es macht mir sehr Spaß, weil Ich mit dem Computer sehr gerne arbeite . =)

#21 Sabriye (Dienstag, 21 März 2017 19:28)

Ich finde die Idee sehr cool weil ich mit dem Computer sehr gerne arbeite und es mir sehr Spaß macht . Ich kann jetzt die Physik besser verstehen . =)

#20 Lena N. (Dienstag, 21 März 2017 18:00)

Ich mag die Computerstunden genau so wie die im Physiksaal, es bereitet mir sehr viel Freude am Computer zu arbeiten, denn jeder kann die Versuche durchführen. Ich mag die Stunden am Computer! Sie erklären alles super! :-)

#19 Merlin (Dienstag, 21 März 2017 14:40)

Ich finde die Versuche sehr cool und im Computer zu arbeiten macht mir mehr Spaß als im Physik Raum.

#18 Katharina (Dienstag, 21 März 2017 11:21)

Ich finde die Versuche am Computer viel besser und sie machen mehr Spaß.
Ich würde lieber die Versuche am Computer machen.

#17 Nicolas (Montag, 20 März 2017 19:57)

Mir hat die Physikstunde gefallen

#16 Kristina (Montag, 20 März 2017 18:49)

Ich finde die Arbeit mit dem Computer toll, es ist was anderes als mit normalen Versuchen die auch viel Spaß machen, man kann selber denken probieren und versuchen. Ich finde überhaupt, dass ob in der Physik Stunde mit oder ohne Computer es macht beides Spaß, überhaupt mit ihnen Sie erklären alles so gut dass man es versteht und auch wenn man es noch nicht ganz begriffen hat erklären sie alles nochmal bis man es kapiert hat :)

Anhang

#15 Leonie (Montag, 20 März 2017 16:11)

Ich fand die Computerstunde heute sehr lustig und spannend.

Mit ihnen machen die stunden sehr viel spaß. Sie sind sehr nett zu uns und helfen uns immer wenn wir wo Hilfe brauchen. Mir gefallen dir Computerstunden genau so gut wie die im Physiksaal .Und mit ihnen macht Physik viel mehr spaß.

Ich hoffe sie bleiben immer so nett und lieb. Lg.Leonie

#14 Marie H. (Montag, 20 März 2017 15:46)

Mir machen die Physik und Mathematikstunden viel Spaß. Die Versuche am Computer sind sehr cool und das Programm finde ich toll da man zu Hause nochmal nachschauen kann wenn man etwas nicht so Verstanden hat.

Ich finde auch, dass Sie sehr gut erklären. : -) :-) :-)

#13 Marlies (Montag, 20 März 2017 10:02)

Mir hat das arbeiten am Computer mittelmäßig gefallen. Ich persönlich arbeite aber lieber ohne Computer. Ich hatte das Gefühl das jeder dem Unterricht folgen konnte.

#12 Melanie (Montag, 20 März 2017 10:02)

Mir persönlich haben die Versuche am Computer nicht so gut gefallen wie die Versuche die wir selber machen durften weil man mehr davon lernen kann wenn man die Objekte vor sich sehen kann und sie berühren kann

#11 Melanie (Montag, 20 März 2017 10:01)

Ich persönlich finde die Versuche ohne Computer spannender, weil man meiner Meinung nach selber mehr raus finden kann wenn man die Objekte sehen und berühren kann. Man konzentriert sich dann mehr damit man sich selber nicht verletzt.

#10 Katrin (Montag, 20 März 2017 10:01)

Ich finde das Programm, die Website sehr cool. Wenn man in Physik nicht so talentiert ist wie ich :-) dann kann man mit diesem Programm sich das nochmal anschauen und es nochmal versuchen zu verstehen. Vor allem man kann am PC besser herumprobieren als im echten Leben .

Anhang

#9 Larissa (Montag, 20 März 2017 10:00)

Mir haben diese Schülerversuche die wir die letzten Male sehr gut gefallen sie waren sehr interessant und gut aufgebaut das jeder sie verstehen konnte die arbeit am Computer war so durchschnittlich weil ich finde das der Versuch den wir am Computer gemacht haben in echt viel besser und anspruchsvoller war .

#8 veronika (Montag, 20 März 2017 10:00)

Ich finde der job passt gut zu Ihnen und die Physik und Mathestunden werden immer verständlich durchgeführt und die Versuche sind sehr abwechslungsreich gestaltet

#7 elias (Montag, 20 März 2017 09:59)

Mir gefallen die Physik stunden sehr gut da wir sehr viele versuche machen und fast nichts machen^^. Manchmal schreiben wir halt schon was aber eigentlich ist die Physikstunde ganz entspannt

#6 Patrick Schindl (Montag, 20 März 2017 09:59)

Mir hat es sehr gut gefallen es wahr viel besser als mit den Computer

#5 Vivien (Montag, 20 März 2017 09:58)

Mir haben die Versuche am Computer sehr gut gefallen. Ich habe dadurch die Versuche noch besser verstanden.

#4 Julian (Montag, 20 März 2017 09:58)

Ich finde die P Stunden im Computerraum am interessantesten weil man jeden versuch selbst machen kann und grundsätzlich keine Fähler machen kann

#3 Jakob (Montag, 20 März 2017 09:57)

Ich finde die versuche am Computer bei denen man selber arbeiten muss sehr interresannt

#2

Hallo (Mittwoch, 15 März 2017 11:15)

mir gefällt das man selber bestimmen kann was man macht aber ich finde Versuche in Echt spannender

#1 Herbert (Mittwoch, 15 März 2017 11:09)

Die heutige Physikstunde hat mir gut gefallen.

Am besten haben mir die Versuche gefallen.

9.2 Kopie des Online-Fragebogens:

Neue Medien im experimentellen Physikunterricht der Sekundarstufe I

Hier geht es zur Umfrage, besten Dank für Deine Mithilfe!

* Erforderlich

Klasse
Auswählen ▼

Alter
Auswählen ▼

Ich bin
Auswählen ▼

Ich habe heute *
Auswählen ▼

WEITER

Seite 1 von 7

Neue Medien im experimentellen Physikunterricht der Sekundarstufe I

* Erforderlich

Und jetzt zur Umfrage...

Jede Frage hat 6 Antwortmöglichkeiten.

Wenn du das erste Kästchen ankreuzt, dann stimmst du mit der Aussage überein.

Beim 5. Kästchen teilst du die Meinung gar nicht.

Achtung: Es gibt auch noch eine 6. Auswahlmöglichkeit, diese nimmst du, wenn du nicht antworten willst oder kannst.

*

	sehr zutreffend (++)	zutreffend (+)	weder noch (0)	kaum zutreffend (-)	nicht zutreffend (--)	will / kann ich nicht beantworten
1) Die heute durchgeführten Versuche haben mir Spaß gemacht.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2) Ich habe heute gerne mitgearbeitet, weil ich gerne physikalische Aufgaben löse.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3) Ich habe heute gerne mitgearbeitet, weil ich gerne über physikalische Versuche nachdenke.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4) Ich habe heute gerne mitgearbeitet, weil ich neue Dinge lernen konnte.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
5) Die heutige Aufgabe war eine richtige Herausforderung für mich.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
6) Ich war sehr gespannt darauf, wie gut ich hier abschneiden werde.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

ZURÜCK

WEITER



Seite 2 von 7

Neue Medien im experimentellen Physikunterricht der Sekundarstufe I

Und noch ein paar Fragen

	sehr zutreffend (++)	zutreffend (+)	weder noch (0)	kaum zutreffend (-)	nicht zutreffend (--)	will / kann ich nicht beantworten
Ich war fest entschlossen, mich bei der heutigen Aufgabe voll anzustrengen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich bin heute schon ein wenig stolz auf meine Tüchtigkeit.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich mag solche Schülerversuche.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bei der heutigen Aufgabe mag ich die Rolle des Wissenschaftlers, der Zusammenhänge entdeckt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Nach den Erklärungen fand ich die heutige Aufgabenstellung sehr interessant.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

ZURÜCK

WEITER



Seite 3 von 7

Neue Medien im experimentellen Physikunterricht der Sekundarstufe I

* Erforderlich

die Hälfte der Umfrage ist schon geschafft.

★

	sehr zutreffend (++)	zutreffend (+)	weder noch (0)	kaum zutreffend (-)	nicht zutreffend (--)	will / kann ich nicht beantworten
Bei den heutigen Aufgaben (Versuchen) brauche ich keine Belohnung, sie machen mir auch so viel Spaß.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Solche Aufgaben wie heute (Versuche) würde ich auch in meiner Freizeit bearbeiten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich hatte das Gefühl, der Schwierigkeit dieser Aufgabe gewachsen zu sein.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich hatte das Gefühl, dass ich die Aufgabe wahrscheinlich nicht schaffen werde.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich glaube, dass kann jeder schaffen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich dachte, ich schaffe diese Aufgabe nicht.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

ZURÜCK

WEITER



Seite 4 von 7

Neue Medien im experimentellen Physikunterricht der Sekundarstufe I

* Erforderlich

bald geschafft...

*

	sehr zutreffend (++)	zutreffend (+)	weder noch (0)	kaum zutreffend (-)	nicht zutreffend (- -)	will / kann ich nicht beantworten
Ich fühlte mich unter Druck, bei der heutigen Aufgabe gut abschneiden zu müssen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich fürchtete mich ein wenig davor, mich beim heutigen Versuch zu blamieren.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Es ist mir etwas peinlich, bei der Durchführung von Versuchen zu versagen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wenn ich an die Aufgabe zurückdenke, bin ich etwas beunruhigt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich war ängstlich, während ich die Versuche durchgeführt habe.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich war bei der Durchführung sehr entspannt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

ZURÜCK

WEITER

Seite 5 von 7

Neue Medien im experimentellen Physikunterricht der Sekundarstufe I

* Erforderlich

vorletzte Seite

*

	sehr zutreffend (++)	zutreffend (+)	weder noch (0)	kaum zutreffend (-)	nicht zutreffend (- -)	will / kann ich nicht beantworten
Ich fühlte mich heute optimal beansprucht.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich merkte gar nicht, wie die Zeit verging.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich hatte keine Mühe, mich zu konzentrieren.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mein Kopf war völlig klar.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich war ganz in meine Versuche vertieft.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

ZURÜCK

WEITER



Seite 6 von 7

Neue Medien im experimentellen Physikunterricht der Sekundarstufe I

* Erforderlich

gleich geschafft

★

	sehr zutreffend (++)	zutreffend (+)	weder noch (0)	kaum zutreffend (-)	nicht zutreffend (--)	will / kann ich nicht beantworten
Bei den heutigen Versuchen hatte ich die Möglichkeit, neue Themen selbstständig zu erkunden.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bei den heutigen Versuchen konnte ich selbst entscheiden, wie ich arbeiten will.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich fühlte mich über meine Fortschritte (während des Experimentierens) informiert.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich wurde für gute Leistungen gelobt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Meine guten Leistungen (während der Versuchsdurchführung) fanden heute Anerkennung.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

ZURÜCK

SENDEN

Seite 7 von 7

9.3 Arithmetische Mittelwerte der einzelnen Items

Wie bereits in Kapitel 6 angeführt, werden die einzelnen Items hier in Form von Mehrfachliniendiagrammen detailliert dargestellt.

9.3.1 Hypothese 1

Die folgende Abbildung zeigt eine Übersicht über die arithmetischen Mittelwerte der einzelnen Items der Hypothese 1.

Aus Platzgründen wird die Legende bereits auf dieser Seite angeführt:

- Die heute durchgeführten Versuche haben mir Spaß gemacht.
- Ich habe heute gerne mitgearbeitet, weil ich gerne physikalische Aufgaben löse.
- Ich habe heute gerne mitgearbeitet, weil ich gerne über physikalische Versuche nachdenke.
- Ich habe heute gerne mitgearbeitet, weil ich neue Dinge lernen konnte.

Übersicht über alle Items zur Hypothese 1

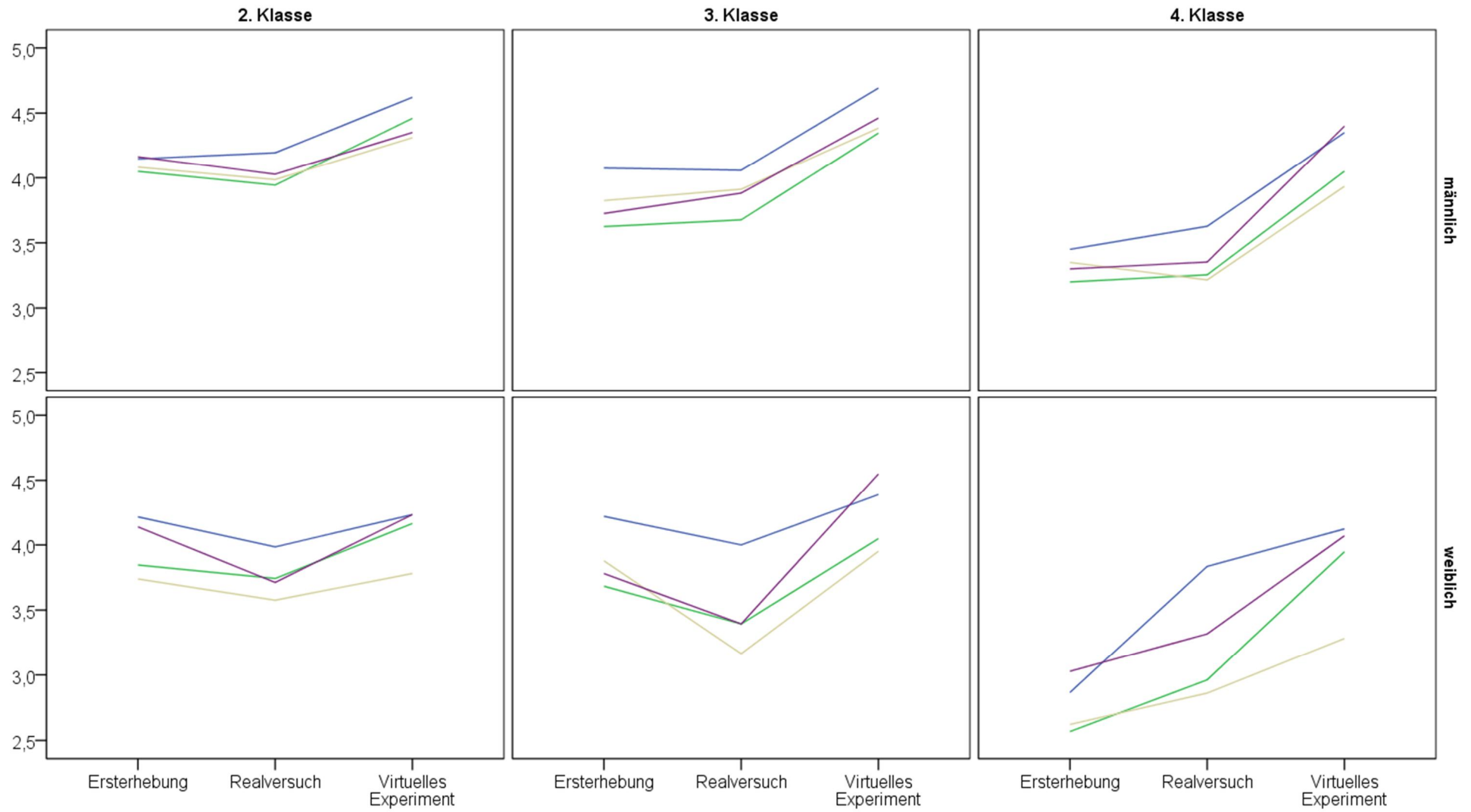


Abbildung 86: Detaillierte Itemübersicht Hypothese 1

9.3.2 Hypothese 2

Die folgende Abbildung zeigt eine Übersicht über die arithmetischen Mittelwerte der einzelnen Items der Hypothese 2.

Aus Platzgründen wird die Legende bereits auf dieser Seite angeführt:

- Die heutige Aufgabe war eine richtige Herausforderung für mich.
- Ich war sehr gespannt darauf, wie gut ich hier abschneiden werde.
- Ich war fest entschlossen, mich bei der heutigen Aufgabe voll anzustrengen.
- Ich bin heute schon ein wenig stolz auf meine Tüchtigkeit.

Übersicht über alle Items zur Hypothese 2

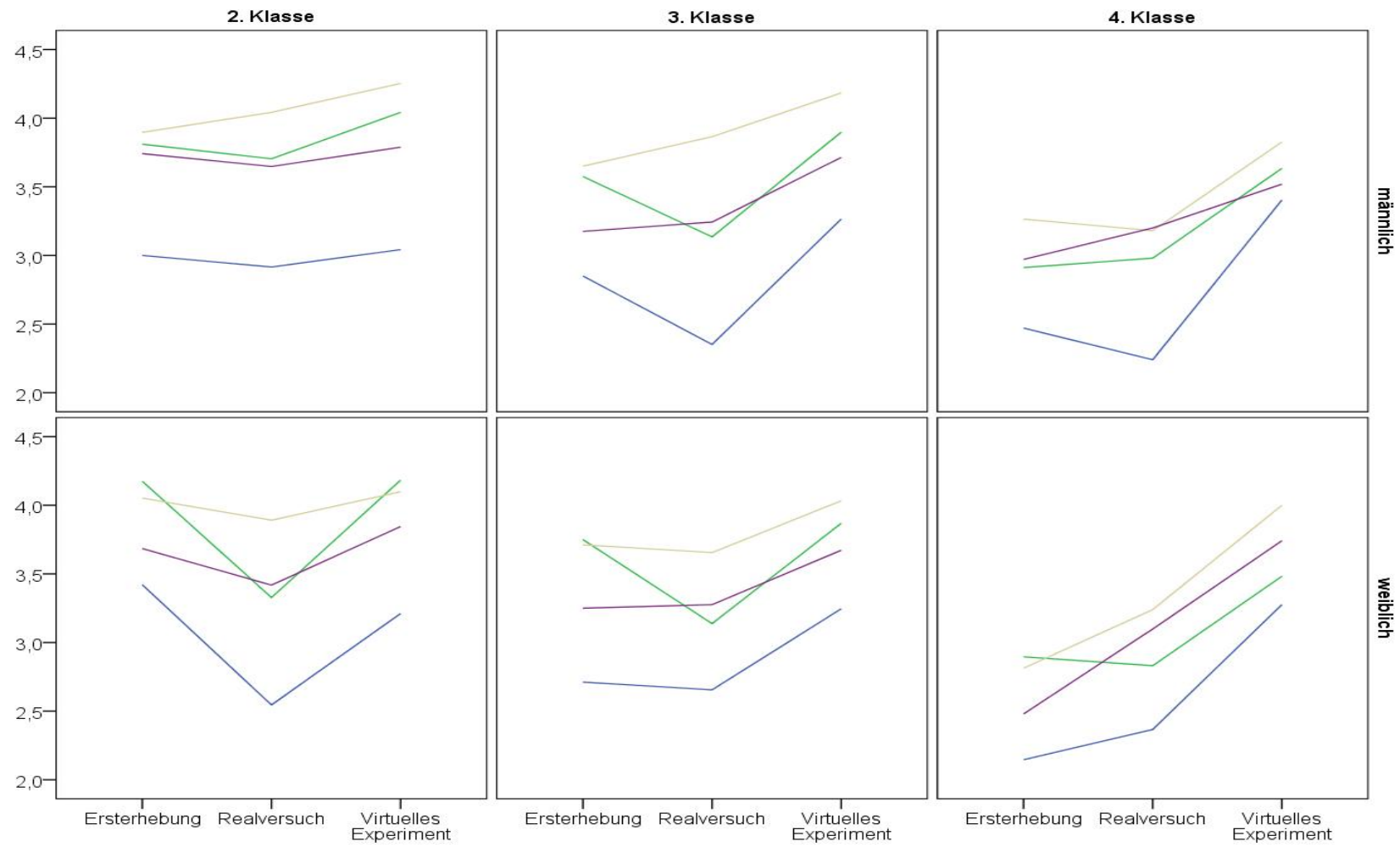


Abbildung 87: Detaillierte Itemübersicht Hypothese 2

9.3.3 Hypothese 3

Die folgende Abbildung zeigt wieder eine Übersicht über die arithmetischen Mittelwerte der einzelnen Items der Hypothese 3.

Aus Platzgründen wird die Legende bereits auf dieser Seite angeführt:

- Bei der heutigen Aufgabe mag ich die Rolle des Wissenschaftlers, der Zusammenhänge entdeckt.
- Nach den Erklärungen fand ich die heutige Aufgabenstellung sehr interessant.
- Bei den heutigen Aufgaben (Versuchen) brauche ich keine Belohnung, sie machen mir auch so viel Spaß.
- Solche Aufgaben wie heute (Versuche) würde ich auch in meiner Freizeit bearbeiten.

Übersicht über alle Items zur Hypothese 3

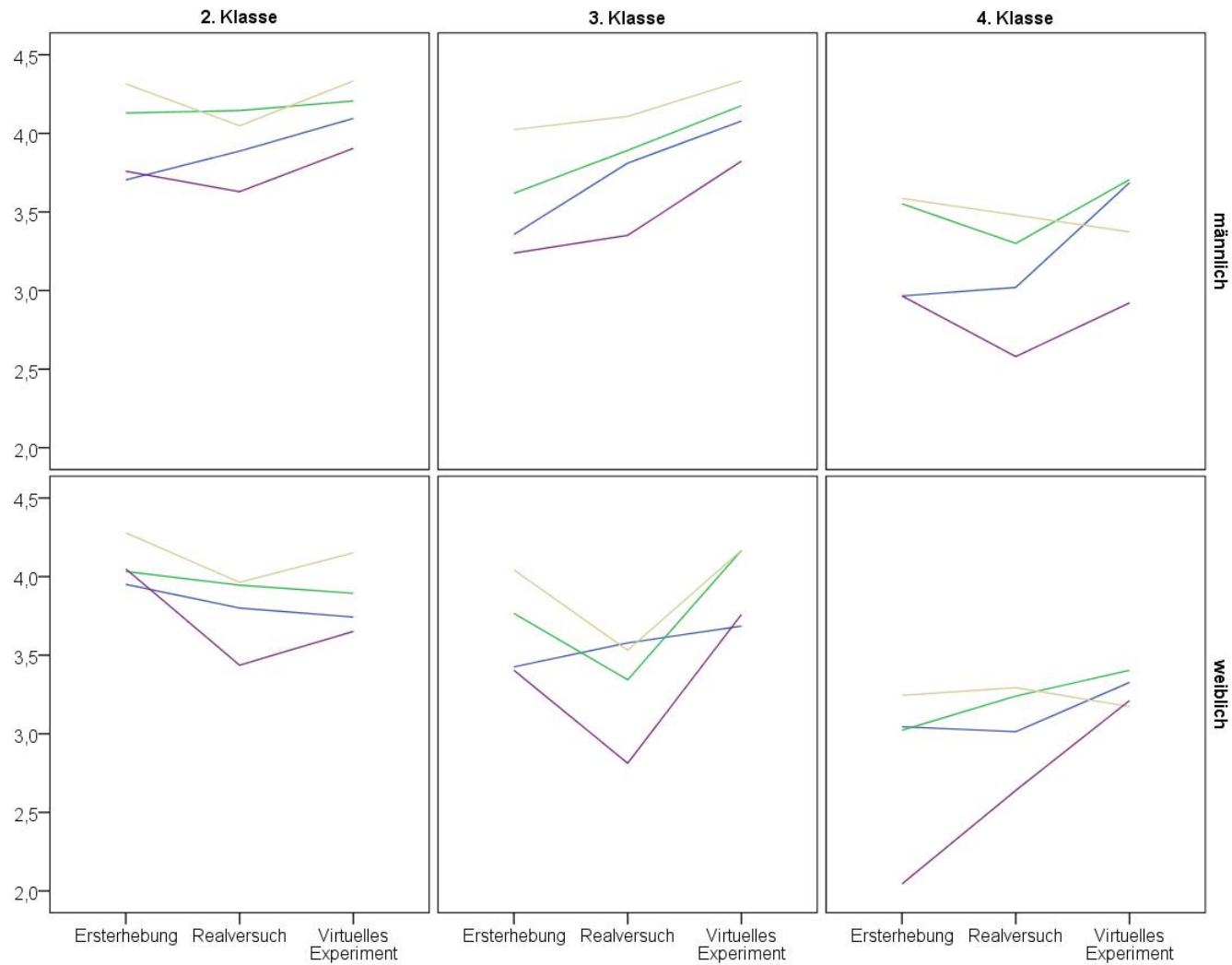


Abbildung 88: Detaillierte Itemübersicht Hypothese 3

9.3.4 Hypothese 4 und 5

Die folgende Abbildung zeigt die Übersicht über die arithmetischen Mittelwerte der einzelnen Items der Hypothesen 4 und 5.

Aus Platzgründen wird die Legende bereits auf dieser Seite angeführt:

- Ich hatte das Gefühl, der Schwierigkeit dieser Aufgabe gewachsen zu sein. (umcodiert → derart codiert ist das Item so zu verstehen: Ich hatte das Gefühl, der Schwierigkeit dieser Aufgabe nicht gewachsen zu sein.)
- Ich hatte das Gefühl, dass ich die Aufgabe wahrscheinlich nicht schaffen werde.
- Ich glaube, dass kann jeder schaffen. (umcodiert → derart codiert ist das Item so zu verstehen: Ich glaube, dass kann keiner schaffen.)
- Ich dachte, ich schaffe diese Aufgabe nicht.
- Ich fühlte mich unter Druck, bei der heutigen Aufgabe gut abschneiden zu müssen.
- Ich fürchtete mich ein wenig davor, mich beim heutigen Versuch zu blamieren.
- Es ist mir etwas peinlich, bei der Durchführung von Versuchen zu versagen.
- Wenn ich an die Aufgabe zurückdenke, bin ich etwas beunruhigt.
- Ich war ängstlich, während ich die Versuche durchgeführt habe.
- Ich war bei der Durchführung sehr entspannt. (umcodiert → derart codiert ist das Item so zu verstehen: Ich war bei der Durchführung angespannt.)

Übersicht über alle Items zu den Hypothesen 4 und 5

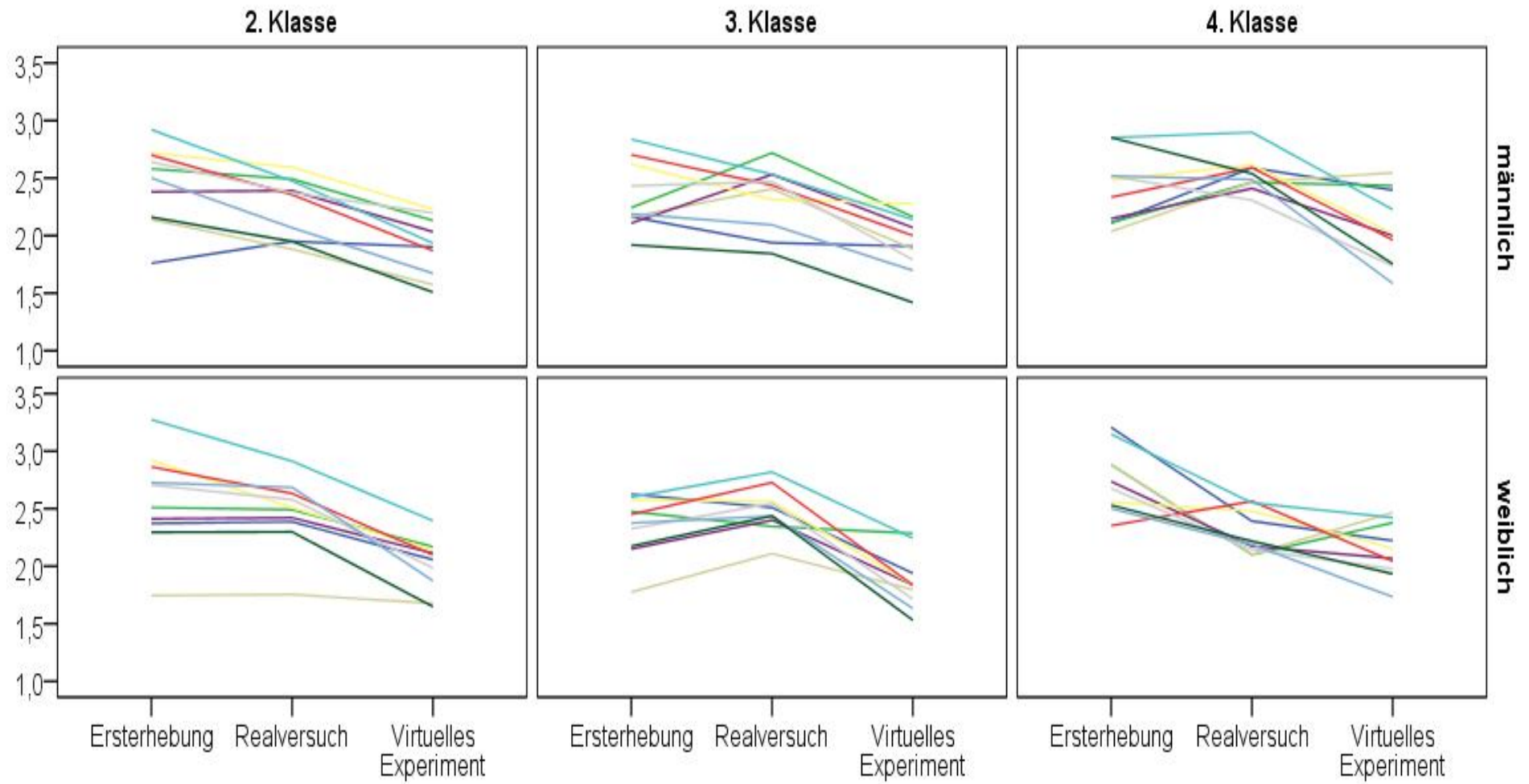


Abbildung 89: Detaillierte Itemübersicht Hypothese 4 und 5

9.3.5 Hypothese 6

Die folgende Abbildung zeigt wieder die Übersicht über die arithmetischen Mittelwerte der einzelnen Items der Hypothese 6.

Aus Platzgründen wird die Legende bereits auf dieser Seite angeführt:

- Ich fühlte mich heute optimal beansprucht.
- Ich merkte gar nicht, wie die Zeit verging.
- Ich hatte keine Mühe, mich zu konzentrieren.
- Mein Kopf war völlig klar.
- Ich war ganz in meine Versuche vertieft.

Übersicht über alle Items zur Hypothese 6

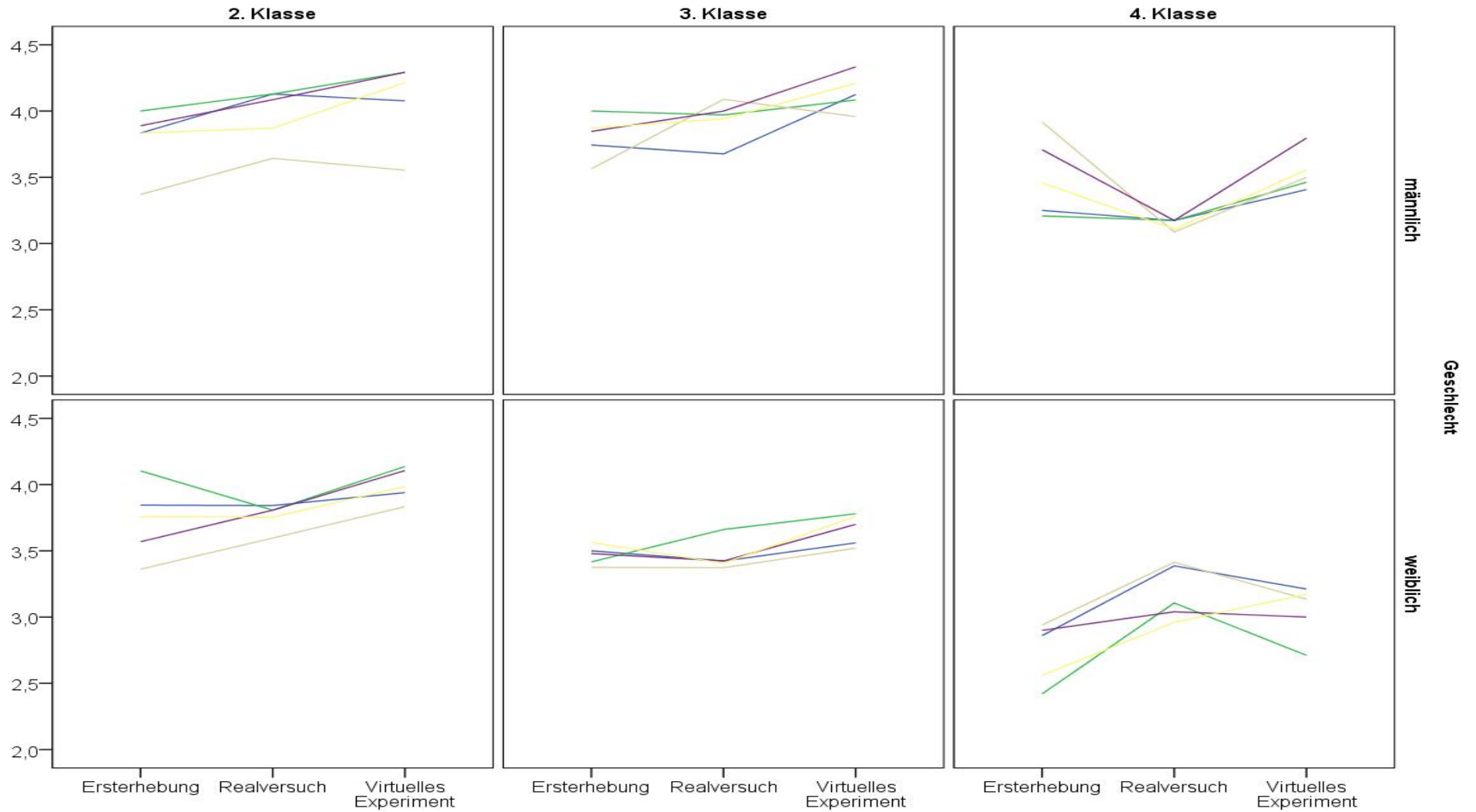


Abbildung 90: Detaillierte Itemübersicht Hypothese 6

9.3.6 Hypothese 7

Die folgende Abbildung gibt eine Übersicht über die arithmetischen Mittelwerte der einzelnen Items der Hypothese 7.

Aus Platzgründen wird die Legende bereits auf dieser Seite angeführt:

- Bei den heutigen Versuchen hatte ich die Möglichkeit, neue Themen selbstständig zu erkunden.
- Bei den heutigen Versuchen konnte ich selbst entscheiden, wie ich arbeiten will.

Übersicht über alle Items zur Hypothese 7

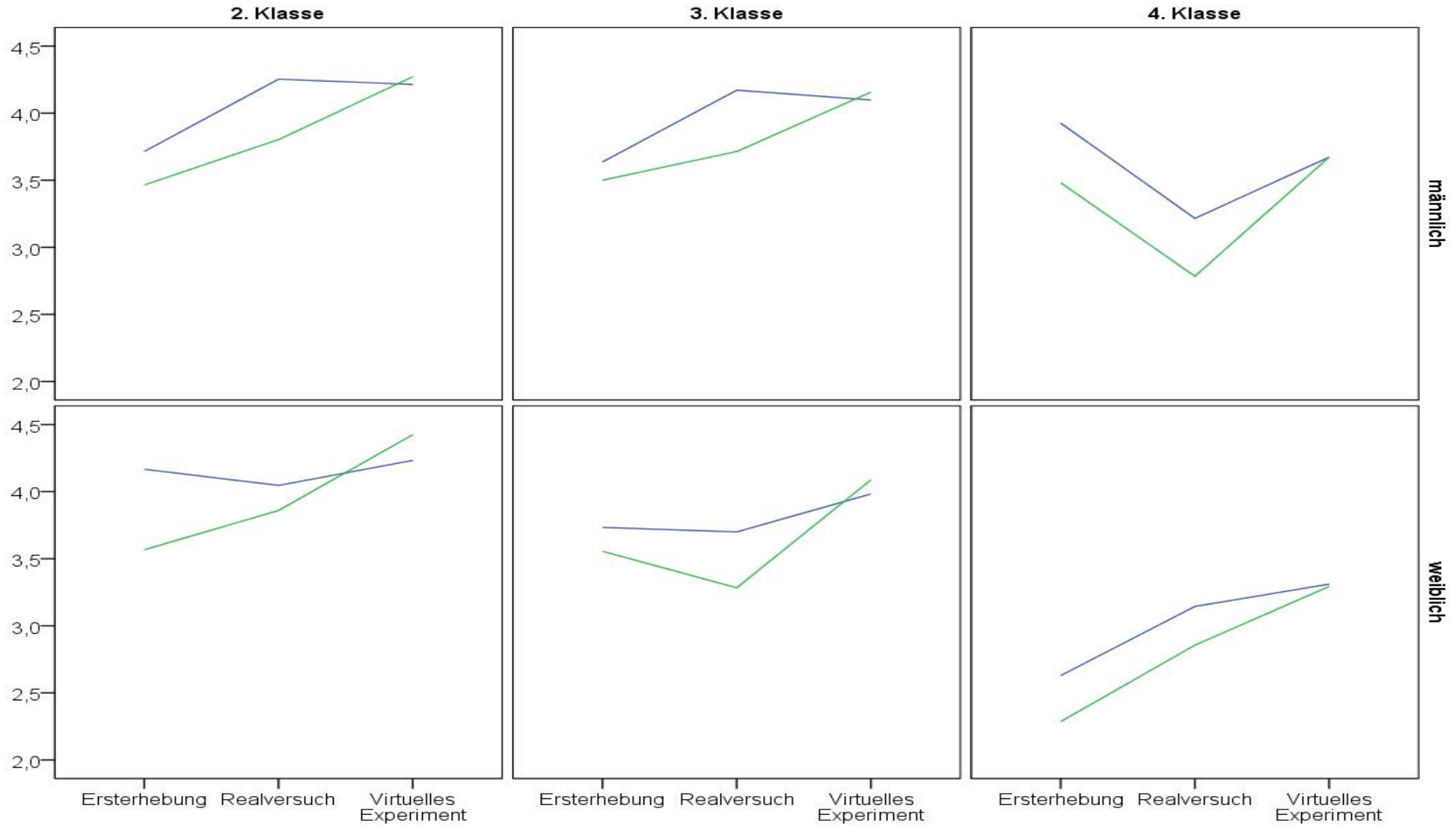


Abbildung 91: Detaillierte Itemübersicht Hypothese 7

9.3.7 Hypothese 8

Die folgende Abbildung gibt eine Übersicht über die arithmetischen Mittelwerte der einzelnen Items der Hypothese 8.

Aus Platzgründen wird die Legende bereits auf dieser Seite angeführt:

- Ich fühlte mich über meine Fortschritte (während des Experimentierens) informiert.
- Ich wurde für gute Leistungen gelobt.
- Meine guten Leistungen (während der Versuchsdurchführung) fanden heute Anerkennung.

Übersicht über alle Items zur Hypothese 8

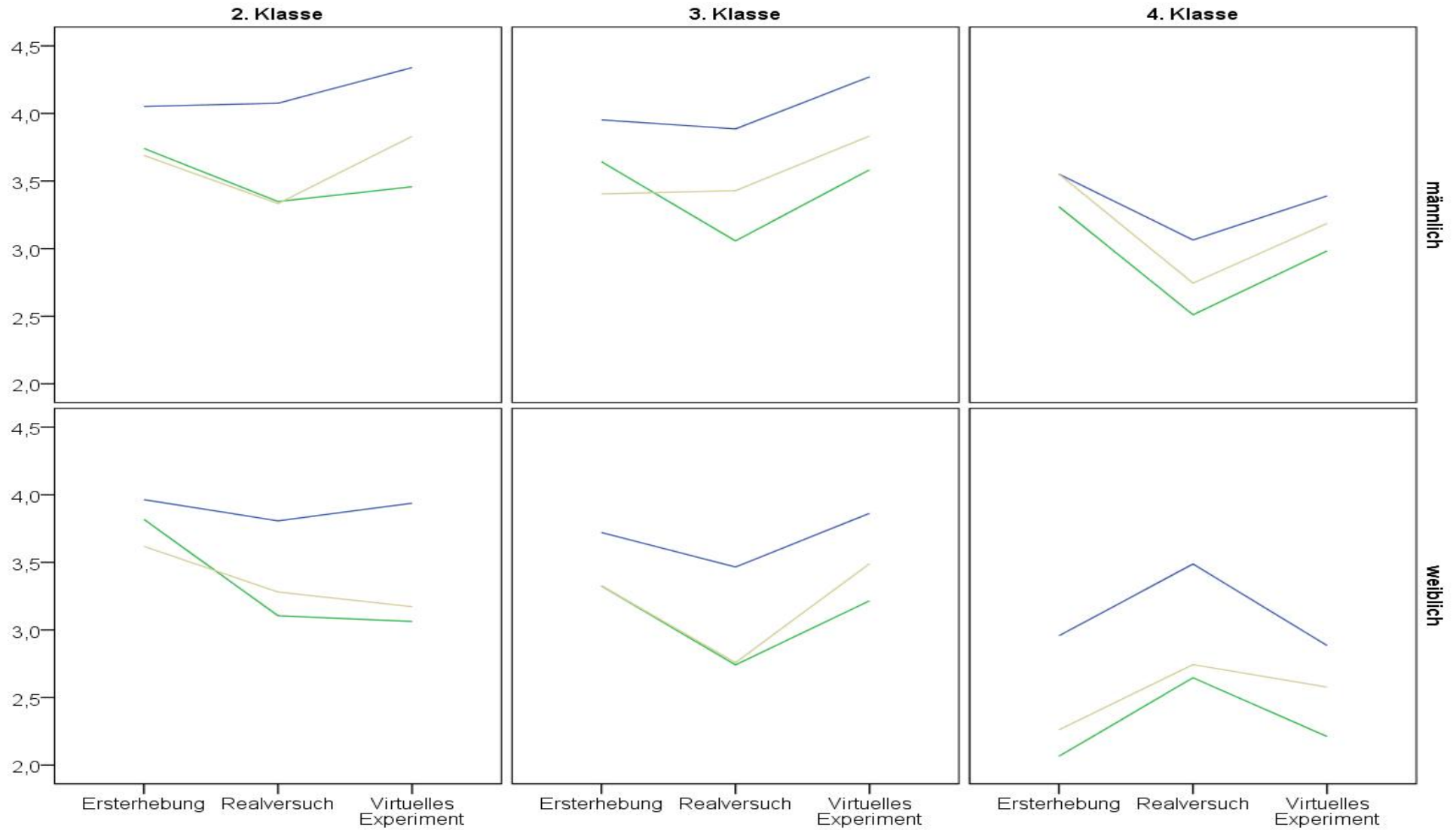


Abbildung 92: Detaillierte Itemübersicht Hypothese 8

Eidesstattliche Versicherung

Eidesstattliche Versicherung gem. § 7 Abs. 2 (e) der Promotionsordnung der Pädagogischen Hochschule Heidelberg

1. Bei der eingereichten Dissertation handelt es sich um meine eigenständig erbrachte Leistung.
2. Ich habe nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und mich keiner unzulässigen Hilfe Dritter bedient. Insbesondere habe ich wörtlich oder sinngemäß aus anderen Werken übernommene Inhalte als solche kenntlich gemacht.
3. Die Arbeit oder Teile davon habe ich wie folgt / bislang nicht an einer Hochschule des In- oder Auslands als Bestandteil einer Prüfungs- oder Qualifikationsleistung vorgelegt.

Titel der Arbeit: Neue Medien im experimentellen Physikunterricht der Sekundarstufe I – Eine empirisch-explorative Studie zur Untersuchung der Auswirkungen von virtuell durchgeführten physikalischen Experimenten auf die Motivation der Lernenden im Sekundarstufenbereich I

Hochschule und Jahr: Pädagogische Hochschule Heidelberg, 2018

Art der Prüfungs- oder Qualifikationsleistung: Dissertation

4. Die Richtigkeit der vorstehenden Erklärungen bestätige ich.
5. Die Bedeutung der eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unrichtigen oder unvollständigen eidesstattlichen Versicherung sind mir bekannt. Ich versichere an Eides statt, dass ich nach bestem Wissen die reine Wahrheit erkläre und nichts verschwiegen habe.

Heidelberg, am 18.01.2018

Unterschrift: